

Novembre 2005 - N°23

Sommaire

* Nanotechnologies et santé publique

- Les implications sociétales des Nanotechnologies
- Le plan Nanotechnologie et Cancer se concrétise.
- Fabriquer des nanomatériaux serait plus "vert" que raffiner le pétrole !

* A l'interface du nanomonde

- Observer des motifs enterrés avec une résolution nanométrique.
- La RMN élargit ses applications à la microfluidique.
- Des éléments piézoélectriques pour activer les nanocomposants.
- Etude de la friction à l'échelle nano.

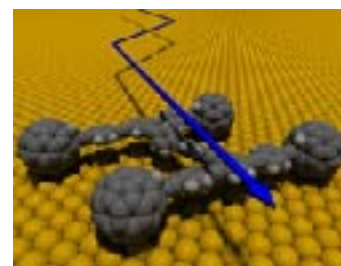
* Energies vertes : de nouvelles cellules photovoltaïques et des espoirs pour la production d'hydrogène

- La course est ouverte pour les panneaux solaires organiques.
- Des cellules photovoltaïques à bases de nanocristaux.
- Des nanotubes défectueux pour produire de l'hydrogène.

* Du nouveau dans les semiconducteurs

- «L'Orbitronics» une nouvelle alternative ?
- Etude du transport d'électrons dans les molécules.
- Des supercapacités à intégrer dans les composants électroniques.

La première nano-voiture moléculaire



Les chercheurs de Rice University (Houston, USA) ont synthétisé une série de molécules dont la structure peut être rapprochée de celle d'un châssis de voiture, et qu'ils ont appelé "nano-car". Le "véhicule" est muni de quatre roues en fullerènes et mesure 3 nm sur 4. Grâce à une pointe de STM (Microscope à Effet Tunnel), les chercheurs peuvent mettre en mouvement la voiture et la faire rouler sur une surface plane d'atomes d'or. Au delà de cette analogie de caractère publicitaire, le contrôle de déplacements moléculaires sur une surface constitue une avancée intéressante dans l'optique de la mise au point de nano-mécanismes.

Source: Rice University, Texas, www.rice.edu



Nanotechnologies et Sciences de la Vie

Le secteur dans lequel les nanotechnologies sont le plus fortement porteuses d'espoir est bien celui des sciences de la vie. Il y a déjà de nombreux exemples de résultats très prometteurs, comme dans le domaine des biocapteurs, de la médecine régénérative, de l'imagerie médicale, de la détection et du traitement de certains cancers, etc. Il devient ainsi de plus en plus difficile d'assurer une veille technologique dans le domaine des nanosciences sans prendre en compte les nombreuses avancées importantes qui voient le jour dans le domaine des applications à la biologie et à la médecine. Ainsi, bien que la Lettre de Sciences Physiques USA ne soit pas une publication tournée vers les sciences de la vie, nous ne pourrions éviter d'y diffuser un certain nombre de nouvelles, qu'elles soient de politique scientifique ou d'innovation technologique, qui touchent à ce secteur par le biais des nanotechnologies. Notre approche restera cependant essentiellement focalisée sur les apports de la physique et de la chimie à ce secteur des bio nanotechnologies.

En ce qui concerne la politique scientifique, rappelons qu'un effort important de recherche est mené aux Etats-Unis, et soutenu au niveau fédéral par plusieurs programmes émanant de différentes agences, dans le cadre de la National Nanotechnology Initiative (NNI), qui attribue en 2005 une enveloppe budgétaire de 145 millions de dollars aux National Institute of Health, et de programmes spécifiques comme Nanosciences and Medicine, ou encore Alliance for Nanotechnology in Cancer. L'année 2005 voit ainsi le démarrage du Cancer Nanotechnology Plan, mis en place par le National Cancer Institute, qui est un programme de 5 ans doté de 144,3 millions de dollars, destiné à développer l'intégration des nanotechnologies dans la recherche bio-médicale pour la lutte contre le cancer et que nous présentons plus en détail dans les actualités scientifiques.

Une des préoccupations du gouvernement fédéral à travers ces différents programmes est de faciliter, et si possible d'accélérer, la transition de la découverte de laboratoire à la commercialisation d'un produit industrialisé. Ainsi, le gouvernement fédéral incite les inventeurs à faire beaucoup plus appel à des programmes comme SBIR (Small Business Innovation Research), ou STTR (Small Business Technology Transfer) dans lesquels il fournit diverses aides pour le développement de sociétés innovantes sur des projets avec un risque commercial élevé. Actuellement, parmi les différentes start-up qui se créent aux Etats-Unis, plus du quart relèvent déjà du secteur des bio nanotechnologies, et on s'attend à ce que cette proportion augmente rapidement.

Il est vrai que la part de marché des bio nanotechnologies devrait augmenter très sensiblement dans les prochaines années. Selon un rapport récent de la Business Communications Company (BCC), le marché global des applications des nanotechnologies aux sciences de la vie qui était d'environ 700 millions de dollars en 2004, devrait dépasser les 900 millions de dollars en 2005 pour atteindre les 3,4 milliards de dollars d'ici 2010, soit une croissance moyenne annuelle de plus de 30%. Le domaine le plus important actuellement est celui des nano dispositifs, essentiellement les capteurs et «lab-on-chip», mais selon les estimations, il sera très prochainement dépassé par celui des nanoparticules, en progression très rapide puisqu'il devrait représenter presque le tiers du marché en 2010, tant les applications prévues sont importantes (marquage moléculaire, imagerie, thérapies ciblées, etc.). Toutefois, cette progression risque de se heurter à une barrière législative, car les règles qui concernent la commercialisation de nouveaux produits destinés à être absorbés par l'homme restent très strictes.

Dans ce marché des bio nanotechnologies, il ne faut pas oublier la part des nouveaux outils pour la recherche, et notamment les différents systèmes de microscopie à force atomique ou à champ proche qui sont spécifiquement adaptés pour pouvoir être utilisés par les biologistes, et dont le développement fait encore l'objet d'une activité de recherche soutenue qui s'appuie largement sur la physique fondamentale.

Roland Hérino
Attaché pour la science et la technologie,
Houston

NANOTECHNOLOGIES ET SANTE PUBLIQUE**Les implications sociétales des nanotechnologies.**

Comment le développement rapide des nanotechnologies risque-t-il d'influencer nos démocraties, d'affecter nos vies privées ou même de changer l'identité humaine elle-même ? La NSF vient d'attribuer plus de 6 millions de dollars au nouveau Center for Nanotechnology in Society de l'Arizona State University (ASU) pour tenter de répondre à ces questions et un second centre comparable va être financé par la NSF à l'Université de Californie de Santa Barbara (à hauteur de 5 millions de dollars pour les cinq premières années de fonctionnement). Il s'agit en fait pour l'agence fédérale de développer un nouveau réseau de recherche sur les aspects sociétaux des nanotechnologies, qui s'appuie tout d'abord sur ces deux centres majeurs destinés à jouer un rôle au niveau national, mais qui intègre aussi d'autres projets développés dans d'autres universités comme à Harvard et à l'Université de Caroline du Sud. Des collaborations avec d'autres équipes déjà impliquées dans ces thématiques, comme à l'Université du Wisconsin (Madison), au Georgia Institute of Technology (Atlanta), à l'Université de Caroline du Nord (Raleigh), à l'Université du Colorado (Boulder) entre autres, font bien entendu partie du programme. Les chercheurs de ces centres travailleront aux côtés des scientifiques qui travaillent sur les nanotechnologies afin d'anticiper et de comprendre les conséquences sociétales de ce secteur nouveau. Le réseau s'intéressera aussi à promouvoir l'information et l'éducation du public sur l'impact des nanotechnologies dans nos sociétés.

Ces questions font ainsi de plus en plus l'objet d'attentions sur le territoire des Etats-Unis, non seulement au niveau des agences fédérales comme la NSF, mais aussi au niveau des universités qui organisent des conférences sur le sujet, comme très récemment l'Université du Texas à Austin avec le Civic Forum on Nano & Society du 1^{er} octobre, ou même d'associations professionnelles ou privées. Ce début octobre a vu le lancement d'une nouvelle initiative dans ce sens, la création du Nanoethics Group qui veut répondre, selon ses responsables, à la fois à une certaine inquiétude du grand public et à un manque d'information sur ce domaine. L'équipe qui se déclare indépendante de tout groupe de pression, industriel ou politique, est constituée de professionnels de l'éthique qui ont une bonne expérience à la fois en nanotechnologies et en communication, comme par exemple Fritz Allhoff, l'un de ses cofondateurs, professeur à Western Michigan University qui a été associé à l'American Medical Association's Institute of Ethics. Le Nanoethics Group se propose d'étudier les questions relatives aux effets des nanotechnologies sur l'environnement, sur la santé, aux utilisations militaires, aux aspects de respect de la vie privée, etc... et d'aider à éduquer le grand public qui reste encore très peu familier avec ces nouvelles technologies et qui ignore en quoi elles pourraient changer la vie, en mieux ou en pire...!

Le Plan Nanotechnologie et Cancer du National Cancer Institute se concrétise.

L'Institut National du Cancer américain (NCI) a mis formellement en place le 13 septembre 2004 l'Alliance for Nanotechnology in Cancer, dans le cadre d'un plan de 5 ans, le Cancer Nanotechnology Plan (CNPlan) doté de 144,3 millions de dollars destiné à développer l'intégration des nanotechnologies dans la recherche bio-médicale pour la lutte contre le cancer. L'accent est mis sur le soutien d'efforts de recherche pluridisciplinaires pour développer de nouvelles techniques de détection et de localisation des signatures moléculaires du cancer à un stade très précoce et qui permettent aux médecins de savoir très tôt si une thérapie anti-cancer est opérante. Il s'agit aussi de développer des dispositifs qui soient capables de simultanément détecter et soigner des tumeurs.

La stratégie du CNPlan repose sur 4 axes principaux : le développement de centres d'excellences (CCNEs : Centers of Cancer Nanotechnology Excellence), le soutien à la création de plateformes technologiques, la création de nouvelles équipes de recherche et la mise en place d'un laboratoire national de caractérisation (le NCL, Nanotechnology Characterization Laboratory).

Le premier objectif des centres d'excellence (CCNEs pour Centers of Cancer Nanotechnology Excellence) est d'intégrer le développement des nanotechnologies dans la recherche fondamentale et appliquée pour accélérer le passage à la recherche clinique. Les exigences pour chacun de ces centres sont qu'ils soient associés à une université ou centre de recherches en sciences physiques (physique, chimie, matériaux, mathématiques), qu'ils possèdent des moyens de bio-informatique avancée, et qu'ils aient des partenariats avec des opérateurs en technologie. Le développement de ces CCNEs va mobiliser plus de 60% du budget du Cancer Nanotechnology Plan (soit plus de 90 millions de dollars sur 5 ans). Le projet prévoyait initialement la création de trois à cinq centres, mais face au nombre et à la qualité des propositions qui ont été soumises au NCI, c'est un ensemble de sept centres qui a été retenu (cf encadré p. 5), et qui recevra un soutien de 26,3 millions de dollars pour la première année.

Un autre aspect du plan prévoit la mise en place de plateformes technologiques qui répondent aux besoins spécifiques de la recherche sur le cancer, et qui soient orientées vers 6 secteurs clé : imagerie moléculaire et détection précoce, imagerie "in vivo", évaluation des traitements en temps réel, thérapies multifonctionnelles, prévention et contrôle, et nouveaux outils pour la recherche. Près de 7 millions de dollars seront consacrés dès 2005 à ces plateformes. Leur choix qui vient juste d'être rendu public (cf encadré p. 5) s'est appuyé sur différents critères (type de cancer, technologie développée, localisation, expertise, etc.)

Le troisième volet de la stratégie de ce plan concerne l'aide à la création et au développement de nouvelles équipes pluridisciplinaires au moyen de différents systèmes de bourses favorisant la mobilité thématique de chercheurs

seniors et de jeunes postdoctorants. L'appel à proposition pour ce type de soutien vient d'être lancé.

Le quatrième axe stratégique est la mise en place d'un laboratoire dédié à l'étude des nanoparticules, dans le but de tester leur efficacité préclinique et leur toxicité, et donc d'accélérer la transition de la recherche de base en nanobiotechnologies vers les applications cliniques. Ce NCL (Nanotechnology Characterization Laboratory), installé sur le campus du NCI à Frederick (Maryland) a été développé en concertation avec le NIST (National Institute of Standards and Technology) et la FDA (Food and Drug Administration). Dans les objectifs de ce laboratoire, il y a la standardisation des tests précliniques et des systèmes nanométriques afin de faciliter et accélérer les procédures d'examen des nouvelles thérapies et stratégies de traitement.

Fabriquer des nanomatériaux serait plus "vert" que raffiner le pétrole !

En exploitant une méthode utilisée par les compagnies d'assurance pour déterminer les primes d'assurance des industries, une équipe de scientifiques et d'experts en assurance de Houston vient de conclure que la fabrication d'un certain nombre de nanomatériaux présentaient plutôt moins de risques pour l'environnement que certains processus industriels courants comme le raffinage du pétrole.

L'étude, qui sera publiée en Novembre dans Environmental Science and Technology, compare les risques pour l'environnement et la santé créés par la production de cinq nanomatériaux : nanotubes de carbone, fullerènes, quantum dots de séléniure de zinc, nanoparticules d'alumoxane et de dioxyde de titane, à ceux de la fabrication de cinq produits courants : plaquettes de silicium, vin, plastiques denses, batteries au plomb, aspirine, et au processus de raffinage du pétrole. L'équipe a analysé en détail les risques dus à la fois aux matériaux de départ, aux matériaux produits et aux sous produits de chaque processus, sur l'aspect de la toxicité, l'inflammabilité et la persistance dans l'environnement, et a établi trois facteurs de risque pour chacun des 11 procédés étudiés : risque d'accident en cours de production, risque dû au processus lui-même, risque de contamination latente, et ses effets sur le long terme. En ce qui concerne les risques d'accidents, le Professeur Wiesner estime qu'ils sont comparables voire plus faibles pour la fabrication des nanomatériaux, ce qui signifie que ces nouveaux processus ne sont pas particulièrement plus dangereux que ceux de nos industries traditionnelles. Ainsi, le facteur de risque obtenu pour la production de nanotubes est-il du même ordre que celui de la production du vin. De même, les risques occasionnés en dehors de tout incident par la production des nanomatériaux étudiés sont comparables à ceux de la fabrication de l'aspirine ou du vin, et toujours plus faibles que ceux du raffinage du pétrole ou de la chimie des plastiques. Les résultats sont également comparables entre nanomatériaux et plaquettes de silicium, vin, aspirine, en ce qui concerne la possibilité de contamination sur le long terme, excepté pour les fullerènes qui sur ce point se rapprochent du score de la

Les centres labellisés en octobre 2005 par le NCI

Les centres d'excellence sur le cancer (CCNEs):

- 1 - Carolina Center of Cancer Nanotechnology Excellence, University of North Carolina, Chapel Hill, N.C.
- 2 - Center of Nanotechnology for Treatment, Understanding and Monitoring of Cancer, University of California, San Diego, Calif.
- 3 - Emory - Georgia Tech Nanotechnology Center for Personalized and Predictive Oncology, Atlanta, Ga.
- 4 - MIT - Harvard Center of Cancer Nanotechnology Excellence, Cambridge, Mass.
- 5 - Nanomaterials for Cancer Diagnostics and Therapeutics, Northwestern University, Evanston, Ill.
- 6 - Nanosystems Biology Cancer Center, California Institute of Technology, Pasadena, Calif.
- 7 - The Siteman Center of Cancer Nanotechnology Excellence at Washington University, St Louis, Mo.

Les plateformes technologiques :

- Nanotherapeutic Strategy for Multidrug Resistant Tumors, Northeastern University, Boston, Mass..
- DNA-linked Dendrimer Nanoparticle Systems for Cancer Diagnosis and Treatment, University of Michigan, Ann Arbor, Mich.
- Metallofullerene Nanoplatfrom for Imaging and Treating Infiltrative Tumor, Virginia Commonwealth University, Richmond, Va.
- Detecting Cancer Early with Targeted Nano-probes for Vascular Signatures, University of California, San Francisco, Calif.
- Photodestruction of Ovarian Cancer: ErbB3 Targeted Aptamer-Nanoparticle Conjugate, Massachusetts General Hospital, Boston, Mass.
- Hybrid Nanoparticles in Imaging and Therapy of Prostate Cancer, University of Missouri, Columbia, Mo.
- Near-Infrared Fluorescence Nanoparticles for Targeted Optical Imaging, The University of Texas M.D. Anderson Cancer Center, Houston, Texas.
- Integrated System for Cancer Biomarker Detection, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- Novel Cancer Nanotechnology Platforms for Photodynamic Therapy and Imaging, Roswell Park Cancer Institute, Buffalo, N.Y.
- Multifunctional Nanoparticles in Diagnosis and Therapy of Pancreatic Cancer, State University of New York, Buffalo, N.Y.
- Nanotechnology Platform for Targeting Solid Tumors, The Sidney Kimmel Cancer Center, San Diego, Calif.
- Nanotechnology Platform for Pediatric Brain Cancer Imaging and Therapy, University of Washington, Seattle, Wash.

fabrication de batteries ou de plastiques, tout en restant bien au dessous de celui de l'industrie du pétrole. Selon Mark Wiesner, il est évidemment difficile d'anticiper sur l'évolution des processus de nano-fabrication, mais sur la base de ce qui est connu aujourd'hui, la production des nanomatériaux qu'ils ont analysé apparaît comme présenter moins de risques que le raffinage pétrochimique, la production de polyéthylène ou la synthèse pharmaceutique.

Sources :

<http://www.physorg.com/news7176.html>

<http://www.nanoethics.org/index.html>

<http://nano.cancer.gov/>

<http://www.rice.edu/>

A L'INTERFACE DU NANOMONDE

Le développement des nanosciences nécessite la mise au point de nouveaux procédés de caractérisation pour observer et mesurer les différents phénomènes physiques à l'échelle du nanomètre. Les universités américaines investissent dans des équipements de mesure, à l'image du nouveau laboratoire de caractérisation récemment installé à Stanford University. Ces laboratoires sont soutenus par les industriels et aussi par le NIST (National Institute of Standards and Technology) qui veut développer une métrologie pour les dimensions nanométriques. De façon plus générale, c'est toute la problématique de l'interface du monde nanométrique avec le monde macroscopique qui donne lieu à de nombreux travaux.

Observer des motifs enterrés avec une résolution nanométrique.

Les techniques de microscopie à champ proche comme la microscopie de force atomique permettent d'obtenir des images de la surface d'un matériau avec une résolution spatiale très élevée, mais restent très mal adaptées pour observer sa structure en profondeur au dessous de la surface. Une voie possible est l'utilisation de méthodes faisant appel à des ondes sonores plutôt qu'à la lumière. Les microscopes acoustiques sont ainsi des outils performants qui permettent d'obtenir des images de motifs à l'intérieur des composants électroniques, mais leur résolution spatiale reste typiquement dans la gamme des 100 micromètres. Des progrès importants ont été réalisés au cours des trois dernières années avec le développement de microscopes à force ultrasonique, qui couplent l'utilisation d'ondes ultrasonores à un microscope à force atomique, et permettent d'obtenir des images révélant des changements de propriétés élastiques d'un échantillon avec une résolution de 10 nanomètres.

Une nouvelle technique, appelée SNFUH pour Scanning Near-Field Ultrasound Holography, vient d'être mise au point par l'équipe du Professeur Vinayak Dravid, à Northwestern University, qui permet d'aller sonder des nanostructures

enterrées avec une résolution spatiale dans la gamme des 10-100 nanomètres. La méthode consiste à utiliser dans un environnement de microscopie à champ proche des ondes ultrasonores et l'holographie afin d'obtenir des informations dans l'épaisseur de l'échantillon analysé. Son principe est le suivant : une onde acoustique de haute fréquence (dans le domaine du MHz) est transmise vers la surface de l'échantillon à partir de la plateforme porte-objet, en même temps qu'une autre onde de fréquence légèrement différente est émise dans l'échantillon à partir de la pointe du cantilever du microscope qui est au contact de la surface. Les deux ondes interfèrent pour former une onde stationnaire acoustique de surface. Si des motifs internes sont présents, ils modifient la phase et l'amplitude de cette onde stationnaire, et le cantilever détecte ces variations. En balayant la surface de l'échantillon, on peut ainsi obtenir l'image des objets qui sont responsables des perturbations de l'onde acoustique.

Cette technique est très bien adaptée à des échantillons de nature très différente, qu'il s'agisse de matériau dur, ou au contraire mou, comme des polymères ou des structures biologiques, ou de matériaux hybrides. L'équipe a ainsi montré que leur technique permettait d'analyser un polymère composite contenant des nanoparticules d'or de 15 nanomètres de diamètre jusqu'à 500 nanomètres en dessous de la surface. De la même façon, les chercheurs ont pu mettre en évidence des volumes vides à l'intérieur d'un film polymère recouvrant une tranchée de nitrure de silicium. La même technique a été utilisée pour réaliser l'image de parasites de la malaria à l'intérieur de globules rouges qui ont été infectés depuis quelques heures seulement, ce qui était jusque là très difficile à réaliser avec d'autres techniques non invasives comme le marquage fluorescent.

La SNFUH possède ainsi de sérieux atouts pour devenir une méthode de contrôle très performante en électronique, qui permette d'aller mesurer des structures comme des interconnexions, des trous d'accès ou des tranchées, et tout motif enterré, sans que l'on ait à détruire l'échantillon pour l'observer par la tranche comme on doit le faire le plus souvent. La possibilité d'aller observer la structure interne de cellules ou d'autres systèmes biologiques est également particulièrement attrayante.

La RMN élargit ses applications à la microfluidique.

Une avancée importante dans la technologie de la RMN a été réalisée récemment par l'équipe du Dr Alexandre Pines de la Materials Sciences Division du Lawrence Berkeley National Laboratory, qui devrait permettre d'améliorer la versatilité et la sensibilité de l'imagerie par résonance magnétique, et notamment ouvrir la voie à de nouvelles applications en micro fluidique. L'équipe a développé une nouvelle méthodologie, appelée RMN avec détection à distance, qui permet de séparer physiquement et temporellement les deux étapes fondamentales de l'imagerie par résonance magnétique, l'encodage du signal (spatial et fréquentiel) et la détection.

La RMN étudie le spin nucléaire des atomes et leur relaxation d'orientation dans un champ magnétique. Seuls sont concernés

les atomes de spin non nul comme l'hydrogène auxquels on peut associer un moment magnétique nucléaire. Placé dans un champ magnétique extérieur, le moment magnétique peut prendre 2 orientations possibles, parallèle ou antiparallèle au champ, qui correspondent à 2 énergies différentes, et la RMN consiste à faire passer le moment magnétique nucléaire du niveau de plus basse énergie à celui de plus grande énergie (ce qui revient à «retourner» le spin) par absorption d'un photon : lorsque l'énergie du photon (et donc la fréquence de l'onde électromagnétique) permet cette transition il y a résonance. Lors de leur relaxation, les spins nucléaires retournent à leur état d'équilibre en émettant à leur tour des ondes radiofréquences. Ce processus d'émission- réémission d'énergie à des fréquences caractéristiques correspond à la phase d'encodage du signal. Dans la phase de détection, on mesure ces fréquences caractéristiques pour obtenir le spectre RMN. Dans les dispositifs traditionnels, une même bobine supraconductrice crée le champ radiofréquence et détecte le signal renvoyé par les atomes. Réaliser une détection à distance nécessite le déplacement de l'échantillon depuis la bobine RF vers une bobine de détection séparée, ce qui implique que les spins nucléaires gardent la mémoire de leur polarisation. L'avantage de cette technique est de pouvoir utiliser des bobines aux caractéristiques différentes, optimisées chacune pour leur fonction, ce qui permet d'améliorer très sensiblement ses performances.

L'équipe de Berkeley vient d'exploiter cette nouvelle technique pour étudier la dynamique de l'écoulement dans un dispositif micro fluide (**Fig. 1**). Ces systèmes, véritables laboratoires de chimie miniaturisés, sont constitués de canaux micrométriques gravés sur une puce et permettent de réaliser une analyse chimique ou biologique rapide et peu chère d'un fluide à partir d'échantillons de seulement quelques nanolitres (cf encadré ci-contre). Les études d'écoulement à l'intérieur de ces canaux sont habituellement réalisées en injectant dans le fluide des particules fluorescentes. L'utilisation de la RMN permet notamment d'éviter d'introduire des particules qui risquent de modifier l'écoulement. De plus, les chercheurs de Berkeley ont augmenté considérablement la sensibilité RMN en injectant dans leur système du Xenon-129, gaz chimiquement inerte qui a le double avantage de pouvoir être hyperpolarisé sous rayonnement laser et de posséder un temps de relaxation de spin très long, ce qui permet de conserver le signal encodé pour une détection à distance.

Selon les chercheurs de Berkeley, la technologie est suffisamment au point pour être appliquée à toutes sortes de dispositifs micro fluidiques du moment que le fluide (gaz au liquide) est transporté au site de détection dans le temps de relaxation du signal RMN encodé. Le principal facteur limitant pour une utilisation répandue reste le prix de l'équipement RMN, et l'équipe prévoit de travailler sur d'autres voies plus économiques pour la détection de signaux RMN.

La Microfluidique aux USA

Les recherches dans le domaine de la microfluidique sont en plein développement aux Etats-Unis. Les travaux portent en particulier sur la compréhension théorique et la mise au point des dispositifs de microplomberie développés de façon modulaire : pompes, canaux, valves, mélangeurs, réacteurs... pouvant être intégrés dans des dispositifs complexes. Ils portent aussi sur la maîtrise des aspects physico-chimiques intervenant dans ces systèmes (interaction polymère-substrat, fonctionnalisation des surfaces).

Les avantages potentiels des microsystèmes, vitesse, parallélisme, économie de matériel, haute sensibilité, sont perçus aux USA comme un enjeu économique très important avec des applications notamment dans les domaines de la chimie, des biotechnologies où ils sont appelés à proliférer dans les prochaines années. La microfluidique appliquée à ces systèmes miniaturisés est reconnue comme un domaine stratégique nécessaire à leur développement. En outre, la politique sécuritaire américaine, post-11 septembre, génère une demande accrue pour des systèmes permettant de détecter très rapidement la présence de composants biologiques ou chimiques dans une attaque de type terroriste. Dans le cadre des décisions sur la 'homeland security' (sécurité intérieure), des projets ont été initiés pour mettre au point des laboratoires miniatures portables ou de réseaux de capteurs communicants permettant une détection rapide et sensible d'agents nocifs, rapide et avec une haute sensibilité.

Quelques solutions technologiques commencent désormais à apparaître sur le marché, commercialisées par des entreprises comme Fluidigm, Agilent, Nanostream ou Caliper (qui commercialise directement ses systèmes HTS – High Throughput Screening). Elles restent limitées à des systèmes relativement simples (microréacteurs, micronébulisateurs, micro électrophorèse capillaire) pour les équipements scientifiques. Cette première réponse industrielle où un petit nombre de créneaux commencent à être occupés par des sociétés très spécialisées, est certainement appelée à un fort développement en considérant le spectre très large des besoins à satisfaire, la dynamique de recherche amont engagée et le rythme soutenu de dépôt de brevets dans le domaine. Sur le marché très particulier de l'équipement scientifique, les premières sociétés qui présenteront des solutions technologiques disposeront d'un avantage concurrentiel qu'il sera difficile de remettre en cause. Les laboratoires ne changeront pas de fournisseurs, pour des raisons de compatibilité ou de continuité des protocoles expérimentaux.

En savoir plus : Rapport de la Mission pour la Science et la Technologie : La Microfluidique en Californie

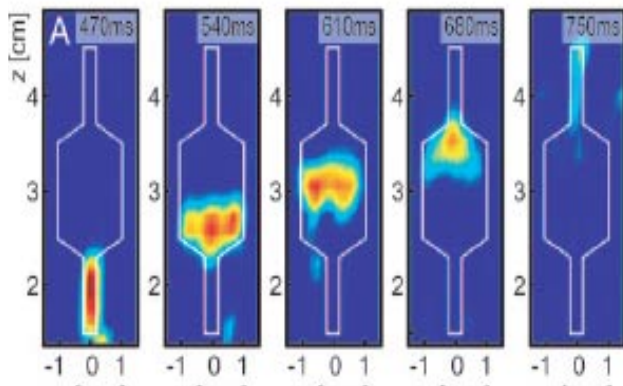


Fig. 1 : Images d'un écoulement gazeux microfluidique bidimensionnel obtenues par RMN détection à distance.

Des éléments piézoélectriques pour activer les nanocomposants.

L'utilisation d'éléments piézoélectriques est une des voies explorées pour fabriquer des actionneurs et servir d'interface entre les composants nanoélectroniques et des éléments mécaniques extérieurs. Les matériaux piézoélectriques possèdent la propriété de se déformer quand une tension leur est appliquée.

Des chercheurs de Penn State University (Pennsylvanie) viennent de mettre au point un nouveau dispositif leur permettant d'utiliser ces propriétés pour des dimensions nanométriques. Ce nouveau mécanisme est constitué d'une bande de PZT, matériau piézoélectrique qui rétrécit quand une tension électrique est appliquée, à laquelle est fixée une tige de silicium. La présence de la tige de silicium permet d'amplifier la déformation du PZT en le contraignant à se courber. Sa réalisation a été permise par une nouvelle technique de microsoudure à basse température pour attacher la tige de silicium micro-usinée sur le volume du piézoélectrique. Le matériau utilisé pour la soudure est un alliage d'Indium (52%) et d'étain (48%). La température est de 200°C ce qui permet d'éviter une altération du PZT. Les micro-actionneurs fabriqués par l'équipe ont des tailles comprises entre 350 et 600 microns de longueur, entre 50 et 100 microns de largeur et entre 5 et 6 microns d'épaisseur.

Ces mécanismes pourraient être utilisés dans l'avenir comme interrupteurs dans des composants RF comme ceux des téléphones portables, ou comme interrupteur optique notamment dans des écrans TV à haute définition (Fig. 2).

Ces résultats sont publiés dans le Journal of Micromechanics and Microengineering (JMM 15, 1947-1955). Auteurs : Cheong, Tadigadapa et Rahn.

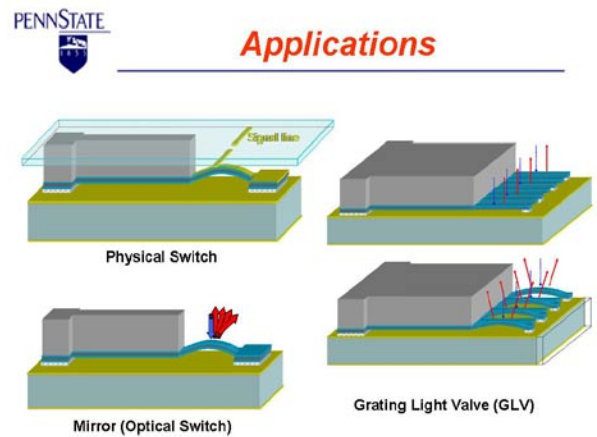


Fig. 2 : Applications des piézoélectriques pour les nanocomposants.

Sources :

<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/310/5745/89?rfvtrToken=2396d1849dda1d6ee67e19282253222de25eafeb>

<http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/MSD-remote-detection-MRI.html>

<http://news.nanoapex.com/modules.php?name=News&file=article&sid=5797>

<http://www.psu.edu/ur/2005/actuator.html>

<http://www.iop.org/EJ/abstract/-featured=in1/0960-1317/15/10/022>

ENERGIES VERTES: DE NOUVELLES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES ET DES ESPOIRS POUR LA PRODUCTION D'HYDROGENE

Avec la hausse du cours du pétrole, on assiste à un regain d'intérêt pour les sources d'énergies alternatives. De nombreuses recherches s'intéressent à l'amélioration des panneaux solaires. Les cellules photovoltaïques traditionnelles sont constituées d'un empilement de deux couches de semiconducteurs de type n et de type p. Des paires électron/trou sont créées par une excitation photonique à l'interface de ces couches. Ces panneaux à base de silicium sont très chers à produire ce qui a toujours limité l'intérêt de leur utilisation. De nombreux travaux sont en cours pour mettre au point des nouveaux panneaux moins chers et plus performants. Certains de ces travaux sont financés par le Department of Energy. La recherche pour le stockage et la production d'hydrogène est également très active avec pour objectif de permettre à une économie de l'hydrogène de se développer.

La course est ouverte pour les panneaux solaires organiques.

Bien moins chers à produire que les panneaux à base de silicium, leurs homologues organiques ont jusqu'ici été handicapés par leur faible efficacité, convertissant

l'énergie solaire en électricité avec un rendement oscillant typiquement entre 1 et 3%. Cette situation est en train d'évoluer avec l'annonce faite par deux équipes américaines d'une amélioration importante des rendements.

L'architecture des cellules photovoltaïques organiques est basée sur le concept de la BHJ (Bulk HeteroJunction) (Fig. 3). Il s'agit d'une couche active, composée d'un entrelacement de matériau accepteur d'électrons (par exemple un matériau à base de fullerène) et de matériau donneur (généralement un polymère) (figure 1). Cette configuration permet aux paires électrons-trous créées par photoexcitation de se propager jusqu'à l'interface entre les deux matériaux malgré leur faible longueur de diffusion. Depuis 10 ans, les efforts de recherche se concentrent sur l'amélioration des caractéristiques de la BHJ.

Un nouveau pas vient d'être franchi avec les travaux de l'équipe du professeur Yang Yang de l'University of California – Los Angeles (UCLA). En utilisant une BHJ composée du polymère poly(3-hexylthiophene) (donneurs d'électrons) et du metanofullerene (accepteurs d'électrons), l'équipe a obtenu un rendement de photoconversion de 4,4%, résultat confirmé par des tests indépendants menés par le National Renewable Energy Laboratory. Les chercheurs sont arrivés à contrôler la croissance de la couche active pour en minimiser la résistance et obtenir un meilleur équilibre entre la mobilité des électrons et des trous qui minimise la formation de charge d'espace, qui limite le rendement. Le procédé de fabrication des cellules organiques à l'avantage d'être facilement transférable à une production de masse à bas coût. Les chercheurs de UCLA estiment pouvoir à terme produire ce type de cellules pour 10 à 20% du prix d'une cellule classique au silicium. Ils sont également optimistes sur une augmentation rapide du rendement avec pour objectif des panneaux convertissant l'énergie solaire à un taux de 15% ou plus et dont la durée de vie serait de 15 à 20 ans.

Le rendement obtenu par l'équipe du professeur Yang Yang est à l'heure actuelle le plus important pour une cellule à base de polymère, mais une autre annonce, faite le 7 octobre par le physicien Seamus Curran de la New Mexico State University, revendique un taux d'efficacité de 5.2%. Les cellules organiques développées par son équipe sont composées elles aussi d'un mélange de polymères et de fullerènes.

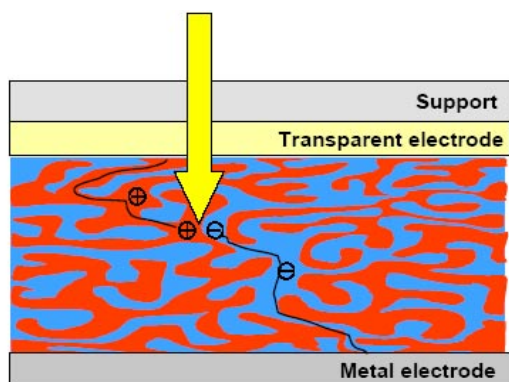


Fig. 3: Bulk heterojunction (BHJ) - Un photon incident crée une paire électron-trou qui se dissocie à l'interface des deux matériaux.

Des cellules photovoltaïques à base de nanocristaux.

Une équipe commune au Lawrence Berkeley Lab et à l'Université de Californie à Berkeley vient de développer une cellule photovoltaïque utilisant un film ultra-mince à base de nanocristaux inorganiques. Ce nouveau type de cellule pourrait être fabriqué avec un coût comparable à celui des cellules à base de matériaux organiques mais présenterait l'avantage de ne pas avoir des performances qui se dégradent au contact de l'air. Le procédé, mis au point par l'équipe de Paul Alivisatos, consiste à produire séparément des nanocristaux de sélénure de cadmium (CdSe) et de tellure de cadmium (CdTe) en forme de bâtonnets, de dissoudre ces nanocristaux dans une solution et de les déposer par spin-cast (centrifugation) sur un substrat de verre conducteur. Les films ainsi réalisés présentent une épaisseur de l'ordre de 100 nm et sont homogènes et quasiment sans défauts. Le rendement de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique est de l'ordre de 3%, ce qui reste faible mais néanmoins dans le même ordre de grandeur que celui des cellules organiques.

Le mécanisme de production du courant électrique est comparable à celui des cellules organiques : c'est-à-dire comme dans une hétérojonction constituée par l'association de deux molécules. Contrairement aux cellules organiques les performances de ce type de dispositif ne semblent pas se dégrader avec le temps.

Des nanotubes "défectueux" pour produire de l'hydrogène

Les nanotubes n'ont pas fini de nous surprendre par l'éventail de leurs applications. Des chercheurs de l'université de Caroline du Nord viennent de montrer que des nanotubes de carbone porteurs de défauts pouvaient catalyser l'hydrolyse de l'eau et la production d'hydrogène.

Les substrats graphitiques de carbone tels que les fibres de carbones activées, les nanotubes et les fullerènes ont été largement étudiés pour leur potentiel de stockage d'énergie et de séquestration de l'hydrogène. Pour la première fois, une étude propose l'utilisation de ces nanostructures comme réacteur chimique plutôt que comme réservoir d'énergie. En s'appuyant sur des calculs *ab initio* de structure électronique s'appuyant sur la théorie DFT (pour Density Functional Theory), l'équipe du Pr. Marco Buongiorno-Nardelli a montré que si des défauts de structure sont présents naturellement ou bien créés artificiellement sur des nanotubes de carbone, on peut observer une chimie originale, offrant plusieurs chemins réactionnels possibles pour la production d'hydrogène par dissociation de l'eau, dont certains ont une énergie d'activation deux fois moindre que celle requise pour une thermolyse directe de l'eau. Cela signifie que l'on peut espérer produire de l'hydrogène à partir de l'eau à des températures au moins deux fois plus basses que par thermolyse, donc

inférieures à 1000°C. Cette réduction résulte de mécanismes réactionnels particuliers liés à la formation d'intermédiaires de réaction favorables lors de la physisorption des molécules d'eau sur des surfaces graphitiques portant des lacunes et des liaisons pendantes.

Cette découverte pourrait avoir d'importantes implications pour la production d'hydrogène en diminuant considérablement les coûts. Les enjeux sont considérables car une production de masse à bas coût de l'hydrogène est indispensable pour permettre à une économie de l'hydrogène de s'imposer. Il reste encore à partir de ces prévisions à mettre au point un véritable processus catalytique. Il faut par exemple éviter que les lacunes de la structure carbonée ne soient saturées par l'oxygène au cours de la réaction, ce qui désactiverait le processus. Plusieurs pistes sont possibles, et les auteurs espèrent pouvoir collaborer avec d'autres équipes pour surmonter ces difficultés, afin d'élaborer ainsi ce qu'on peut appeler un premier réacteur chimique nanométrique.

Sources :

<http://newsroom.ucla.edu/page.asp?RelNum=6518>
http://www.nmsu.edu/~ucomm/Releases/2005/october/organic_solar_press.htm
<http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/MSD-nanocrystal-solar-cells.html>
http://www.ncsu.edu/news/press_releases/05_09/188.pdf

DU NOUVEAU DANS LES SEMICONDUCTEURS

L'industrie des semi-conducteurs a beaucoup évolué depuis ces quarante dernières années mais les limites imposées par les propriétés physiques du silicium poussent les industriels à solliciter activement l'ensemble de la communauté scientifique pour la recherche de solutions alternatives à la technologie CMOS. L'utilisation de matériaux ou de propriétés physiques non exploitées jusqu'à présent, offre de nouvelles perspectives pour l'industrie des semi-conducteurs. La recherche dans ce domaine est très active et de nombreuses pistes sont en cours d'étude.

« L'Orbitronics » une nouvelle alternative ?

L'électronique de spin (ou spintronique) est une discipline à la frontière entre magnétisme et électronique qui cherche à tirer parti du spin des électrons comme d'un nouveau degré de liberté pour véhiculer des informations. La spintronique est étudiée depuis plusieurs années en tant qu'alternative à la logique binaire classique utilisée dans les ordinateurs actuels.

Dans un article publié en Août 2005 dans la *Physical Review Letters* (PRL), des physiciens de l'université de Stanford présentent un nouveau modèle appelé cette fois-ci "Orbitronics". Cette technique permettrait à terme de

s'affranchir de la contrainte liée à la dissipation d'énergie par effet joule. Selon *Shoucheng Zhang*, professeur de Physique à Stanford et co-auteur de l'article, la miniaturisation des puces actuelles est fortement limitée par la dissipation d'énergie puisque plus de 40% de la puissance dans les circuits est perdue par dissipation de chaleur. En 2003, *Zhang* et ses collègues de l'université de Tokyo avaient déjà montré qu'il est possible de produire, sans perte d'énergie, un courant de spins alignés avec un champ électrique. Cette spintronique ne fonctionne cependant pas très bien avec des atomes légers comme le silicium. Les nouveaux travaux de *Zhang* et de son équipe, *B. Andrei Bernevig* et *Taylor L. Hughes*, démontrent cependant que l'application d'un champ électrique sur du silicium dopé-p peut induire un courant orbital sans dissipation à la manière de ce qui se passe avec l'effet hall quantique de spin. Cet effet dépend du couplage spin-orbite qui est fort dans les complexes d'atomes lourds mais relativement faible dans le cas du silicium. Selon *Zhang*, lorsqu'un flux d'électron est placé dans un champ électrique, un courant orbital, perpendiculaire au courant électrique, est généré. Les auteurs de l'article insistent sur le fait que "l'orbitronics" est loin de devenir une technologie applicable à l'industrie des semi-conducteurs et que plusieurs dizaines d'années de recherche seront nécessaires avant une éventuelle commercialisation. Si la théorie de *Zhang* est exacte, les composants électroniques pourraient bénéficier des avantages de la spintronique sans avoir à abandonner le silicium. Compte tenu des lourds investissements qui ont été réalisés dans les infrastructures permettant la fabrication de composants à base de silicium, on comprend facilement l'intérêt des industriels pour ce type de recherche qui permettrait d'éviter de remplacer le silicium par un nouveau matériau.

Zhang co-dirige aujourd'hui le centre de recherche spécialisé en spintronique créé par IBM et l'université de Stanford ("SpinAps"). Ce centre, fondé en 2004, étudie les applications de la spintronique comme les supraconducteurs à température ambiante ou les ordinateurs quantiques. Le laboratoire a donné lieu à un investissement initial de 7M\$, et tourne avec un budget annuel de 4M\$ en employant une vingtaine de personnes. Avec ce laboratoire IBM souhaite bénéficier de l'environnement intellectuel de l'université. Les droits de propriété intellectuelle sont partagés entre les deux partenaires.

Etude du transport d'électrons dans les molécules

L'électronique moléculaire cherche à exploiter les propriétés de certaines molécules organiques afin de développer de nouveaux composants électroniques (diode, transistors...) ou électromécaniques (moteurs, interrupteurs...) aux dimensions nanométriques. L'électronique moléculaire permettrait d'augmenter les performances des ordinateurs actuels grâce à des composants plus compacts et plus fiables que ceux à base de transistors.

Des chercheurs de l'université de l'Ohio en collaboration avec des équipes de chercheurs de l'université de Rio de Janeiro au Brésil et de celle de Buenos Aires en Argentine,

ont étudié le mouvement d'électrons dans des molécules individuelles. Les phénomènes de transport électronique ont été observés en plaçant des molécules, se présentant sous la forme de minuscules fils conducteurs, entre deux électrodes. Selon *Nancy Sandler*, professeur à l'université de l'Ohio, les modèles théoriques actuels de l'électronique moléculaire prennent en compte le fait que les électrons s'évitent entre eux. Cette étude présente une nouvelle approche pour décrire les interactions entre électrons dans la molécule. Les auteurs montrent que, en plus des interactions électroniques fortes, les vibrations moléculaires peuvent produire des «canaux de conduction» inattendus. Le modèle développé s'applique plutôt aux molécules dites courtes. D'autres scientifiques étudient des molécules de taille plus longue comme l'ADN ou des chaînes carbonées (notamment les nanotubes) qui pourraient servir à mettre au point des connecteurs ou des fils conducteurs de longue taille. Les différents collaborateurs du projet décrivent une autre propriété intéressante : les électrons se "rappellent" où ils sont passés. Lorsque les oscillations moléculaires sont à la bonne fréquence, les électrons sont soit entraînés plus efficacement, soit piégés momentanément dans la molécule. Ces oscillations pourraient ainsi rendre plus efficace le transport dans la molécule et permettre le développement d'interrupteurs moléculaires ou d'autres applications.

Même si les premiers travaux en vue de développer une électronique au niveau moléculaire datent de près de 15 ans, les chercheurs du domaine estiment qu'il faudra encore au moins 20 ans d'efforts de recherche pour déboucher sur des produits commercialisables. Ces recherches publiées en septembre 2005 dans *Physical Review B* ont été financées par la NSF (*National Science Foundation*) à travers un projet intitulé : « Correlation effects and transport in nanostructured materials ».

Des supercapacités compatibles avec les technologies silicium

Les capacités sont des composants passifs fréquemment utilisés dans les circuits intégrés. Elles peuvent avoir diverses fonctions comme le stockage d'information, la restitution quasi instantanée d'une grande quantité d'énergie, la réalisation de filtres, etc. Dans sa forme la plus simple une capacité se résume à deux plaques conductrices en regard séparées par une couche de matériau isolant. Pour améliorer la capacitance de ces composants, on peut remplacer le matériau isolant par un nouveau diélectrique et réduire son épaisseur. Les travaux de ces dernières années ont permis d'obtenir des structures de capacité élevée (mille fois plus grande que les capacités ordinaires), appelés supercapacités. Elles ont été réalisées en diminuant fortement l'intervalle entre les deux électrodes et pour certaines en utilisant des polymères.

Les travaux de *Liping Ma* et *Yang Yang*, chercheurs au département de science et ingénierie des matériaux à l'université de Californie à Los Angeles (UCLA), publiés dans *Applied Physics Letters* (87, 123503), présentent une technique permettant de fabriquer une supercapacité en

utilisant les procédés classiques de la microélectronique. La structure réalisée par évaporation thermique se compose d'une couche de diélectrique (LiF) intercalé entre deux électrodes métalliques (Cu, Au ou Al).

D'après ces chercheurs, cette technique permet non seulement de superposer plusieurs structures pour obtenir une plus grande valeur de capacité mais aussi de pouvoir intégrer facilement cette supercapacité dans d'autres dispositifs électroniques. Ce composant pourrait servir de source d'énergie secondaire permettant de conserver des informations stockées en mémoire lors d'une défaillance temporaire de l'alimentation primaire. Une supercapacité peut être chargée ou déchargée très rapidement (quelques microsecondes à quelques secondes) contrairement à une batterie qui demande plusieurs minutes voire des heures. Néanmoins une batterie possède une densité d'énergie beaucoup plus élevée. La source d'énergie secondaire idéale serait donc un système hybride combinant les avantages d'une supercapacité et d'une batterie. Les mesures réalisées sur la supercapacité (Cu/LiF/Cu) mise au point par *Liping Ma* et *Yang Yang* donnent des valeurs d'une dizaine de microfarads par centimètres carrés pour une fréquence de charge de 10 kHz.

Sources :

- David Orenstein, " *New spin on semiconductors: "Orbitronics" advances silicon-based computing*", Stanford Octobre 2005.
- Bernevig BA, Hughes TL, Zhang SC, " *Orbitronics: the intrinsic orbital current in p-doped silicon.*", Department of Physics, Stanford University, Stanford, California 94305, USA.
- Liping Ma, Yang Yanga, " *Solid-state supercapacitors for electronic device applications*", Department of Materials Science and Engineering, University of California Los Angeles, Applied Physics Letters **87**, 123503, 2005.

<http://news.research.ohiou.edu/news/index.php?item=200>

En savoir plus :

<http://www.almaden.ibm.com/spinaps/>

<http://prl.aps.org>

Rapport de la Mission pour la Science et la Technologie : La spintronique aux Etats-Unis - Un Aperçu des Recherches :

http://www.consulfrance-sanfrancisco.org/article.php3?id_article=498

<http://www.aip.org/pnu/2005/split/746-3.html>

ETATS-UNIS SCIENCES PHYSIQUES

NANOSCIENCES, MICROELECTRONIQUE,
MATERIAUX

N°23, Novembre 2005

Pour vous abonner gratuitement à la lettre
ETATS-UNIS SCIENCES PHYSIQUES
et être informé en priorité de la disponibilité
des prochains numéros, il suffit d'envoyer un
courrier électronique à l'adresse:
subscribe.be.etatsunis@adit.fr
Vous recevrez en retour une confirmation
d'abonnement.

Directeur de la publication :
Michel Israël

Rédacteurs en chef :
Roland HERINO
Christophe LEROUGE

Rédacteurs :
Raphaël ALLEGRE
Rémi DELVILLE

Mise en page et Publication :
Rémi DELVILLE
Raphaël ALLEGRE

ETATS-UNIS SCIENCES PHYSIQUES
est une publication mensuelle de la Mission pour la Science
et la Technologie de l'Ambassade de France aux Etats-Unis,
dont la diffusion est assurée par l'ADIT

Vous y trouverez un archivage des anciens numéros de la lettre et
découvrirez aussi les autres publications de la Mission
pour la Science et la Technologie

-S&T Presse
-Flash TIC
-Revue santé Etats-Unis
-Revue de l'environnement
-Etats-Unis Espace
-Etats-Unis Microélectronique/ Matériaux
(archives précédant la fusion)

Retrouvez ETATS-UNIS SCIENCES PHYSIQUES ainsi que
toute l'actualité technologique aux Etats-Unis et dans le reste
du monde sur le site:

<http://www.bulletins-electroniques.com/>

FICHES STRATÉGIQUES:

- Initiative jeunes entrepreneurs - Mobilité de jeunes chercheurs/ entrepreneurs vers la France (Sep 2005)
- La place de la Science dans le nouvel agenda de la NASA (Sep 2005)
- La Politique Fédérale de R&D en Nanotechnologies aux Etats Unis (Sep 2005)
- Le développement technologique dans la région de San Francisco (Sep 2005)
- Le Devenir des Post-doctorants en Amérique du Nord (Sep 2005)
- Observation de la Terre: La contribution américaine à GEOSS (Sep 2005)
- Bio-Pharming – Des plantes génétiquement modifiées pour produire des médicaments, (Jan 2005)
- Comment fonctionnent les universités américaines ? (Jan 2005)
- L'environnement au sortir des élections américaines : bilan et perspectives, (Jan 2005)
- Nanoélectronique - USA, (Jan 2005)
- Préserver l'eau dans l'agriculture texane : contexte et solutions, (Jan 2005)
- SpaceShipOne : le début ou la fin du rêve ? (Jan 2005)

DOSSIERS ETATS-UNIS SCIENCES PHYSIQUES

- Août 2005 ; La photolithographie
- Février 2005 : L'électronique grand public aux Etats-Unis
- Juillet 2004 : L'International Roadmap for Semiconductors
- Mai 2004 : Les nanocomposites aux Etats-Unis

NOTES ET RAPPORTS D'ETUDES:

- Sept 2005 : Les efforts de Recherche et Développement en nanotechnologies aux USA
- Sept 2005 : Enseignement universitaire et recherche : comparaison entre les USA, le Japon et la France
- Jun 2005 : Enquête sur le devenir des post-doctorants en Amérique du Nord
- Mai 2005 : La Politique de R&D en Nanotechnologies aux Etats-Unis
- Mar 2005 : La spintronique aux Etats-Unis - Un Aperçu des Recherches
- Fev 2005 : Eau et agriculture au Texas
- Oct 2004 : Fonctionnement des universités américaines : Qui Propose ? Qui décide ?
- Sep 2004 : Nouvelles Modalités d'attribution des visas aux US, quelle influence sur la communauté scientifique?
- Jul 2004 : Les Universités Américaines : Quelques données
- Jul 2004 : Quelles sont les forces qui entraînent la R&D américaine ?
- Juin 2004 : Analyse du secteur biotechnologies animales aux Etats-Unis en 2003
- Avr 2004 : Le statut des chercheurs aux Etats-Unis
- Avr 2004 : Les projets de création de laboratoires à la NSF