

SCIENCES *Ouest*

RECHERCHE ET INNOVATION EN BRETAGNE N°196

micro et
nanotechnologies

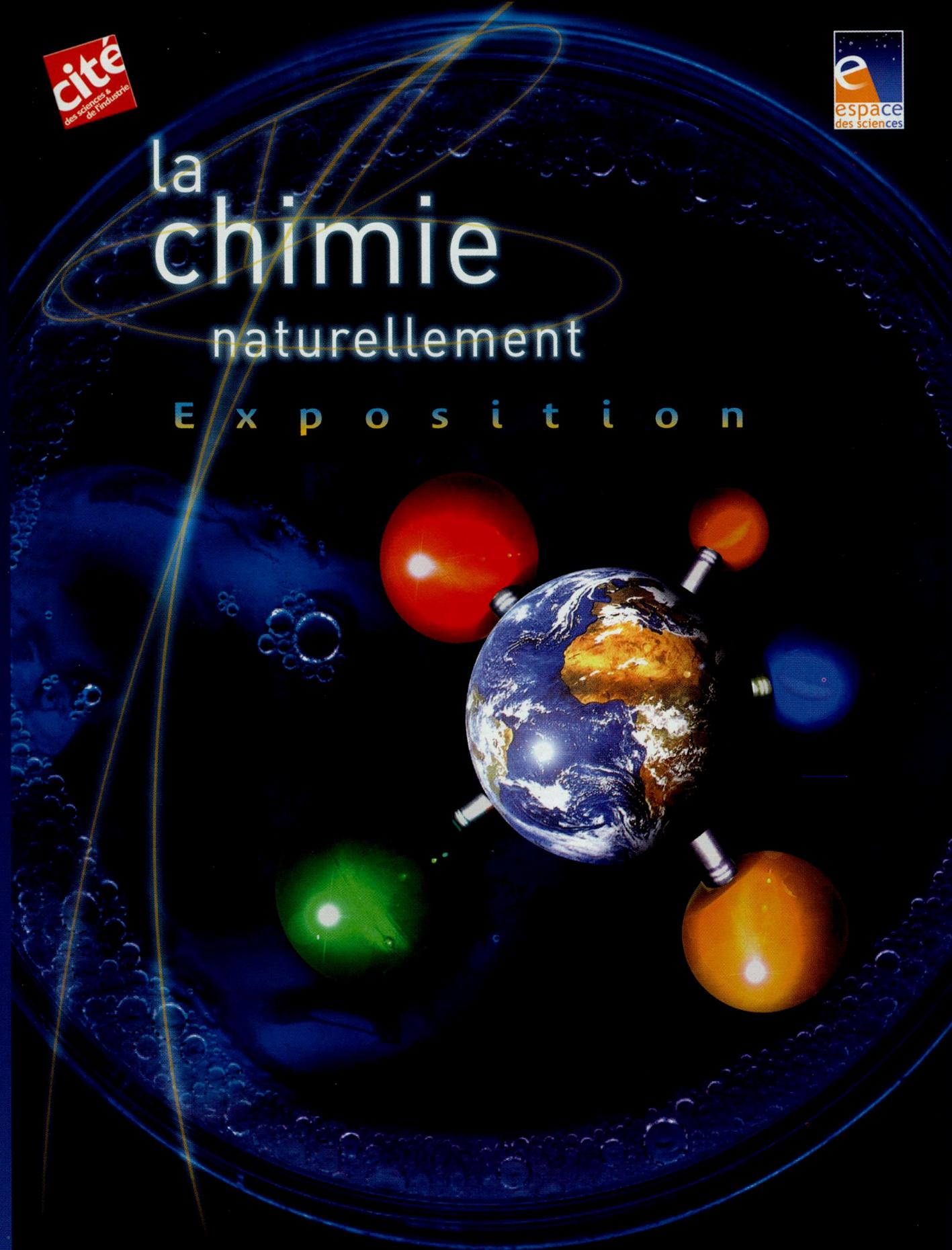
FÉVRIER 2003 / 3 €





la chimie naturellement

E x p o s i t i o n



Du **11 septembre** 2002
au **22 février** 2003

Espace des sciences
Centre Colombia - 1er étage - Rennes



Éditorial

MICHEL CABARET, DIRECTEUR DE L'ESPACE DES SCIENCES

NE COMMUNIQUONS PAS À L'ÉCHELLE NANO!

A lors que l'Espace des sciences présente avec beaucoup de succès à Rennes l'exposition "La chimie naturellement", *Sciences Ouest* aborde ce mois-ci le domaine des micro et des nanotechnologies. Dans leur course à la miniaturisation, les chercheurs réalisent des adaptations et des découvertes surprenantes dans des domaines aussi variés que les biotechnologies avec les puces à ADN, la chimie, l'environnement, l'agroalimentaire, l'électronique... Entreprises et laboratoires bretons sont à la pointe en terme de recherches et développements sur ce sujet, que ce soit à l'Université de Rennes 1, ou de Bretagne occidentale, à l'Insa, au CNRS, à l'Institut de chimie ou à l'Institut d'électronique et de télécommunications de Rennes, dans la société quimpéroise Polaris ou à l'Institut brestois Paul-Émile Victor.

La rubrique "Comment ça marche ?" vous fera découvrir l'étonnant moteur Stirling dont le principe, qui date de 1816, pourrait être justement remis au goût du jour dans le cadre de la microcogénération.

De plus, vous retrouverez au sommaire : la chronique culinaire d'Hervé This avec une expérience ludique et utile pour notre quotidien : "Comment différencier un œuf frais d'un œuf dur ?" ; mais aussi un article sur les travaux de l'Afssa de Ploufragan qui bénéficie du réseau Génopole Ouest et s'intéresse à la mise au point de biopuces à ADN chez le porc ; le supplément *Découvrir* pour les plus jeunes traite de l'atome, de la matière et de l'antimatière !

Enfin, le témoignage d'une directrice de laboratoire prônant les actions de communication, notamment au niveau local, me permet de rebondir pour vous dire qu'il me semble important de rappeler l'importance de la diffusion de la culture scientifique, technique et industrielle ; les événements récents tels que les clonages reproductifs soutenus par la secte raélienne, la marée noire ou encore la promotion de l'astrologie nous incitent, plus que jamais, à renforcer notre action. Je remercie d'avance tous les scientifiques et les partenaires de l'Espace des sciences qui soutiennent nos programmes afin que la culture scientifique soit porteuse d'une nouvelle vision pour l'Homme. ■



SCIENTES OUEST est rédigé et édité par l'Espace des sciences, Centre de culture scientifique technique et industrielle (Association) ■ Espace des sciences, 6, place des Colombes, 35000 Rennes - nathalie.blanc@espace-sciences.org - http://www.espace-sciences.org - Tél. 02 99 35 28 22 - Fax 02 99 35 28 21 ■ Président de l'Espace des sciences : Paul Tréhen. Directeur de la publication : Michel Cabaret. Rédactrice en chef : Nathalie Blanc. Rédaction : Romain Allais, Jean François Collinot, Bernadette Ramel, Claire Chavanat. Comité de lecture : Christian Willaime (physique-chimie-matériaux), Gilbert Blanchard (biotechnologies-environnement), Michel Branchard (génétique-biologie). Abonnements : Béatrice Texier. Promotion : Magali Colin. Publicité : AD Media - Alain Diard, tél. 02 99 67 76 67, e-mail info@admedia.fr ■ Sciences Ouest est publié grâce au soutien de la Région Bretagne, des départements du Finistère et d'Ille-et-Vilaine et des Fonds européens ■ Édition : l'Espace des sciences. Réalisation : Pierrick Bertôt création graphique, 35510 Cesson-Sévigné. Impression : TPI, 35830 Betton.



SOMMAIRE FÉVRIER 2003



Tirage du n°196
4 500 ex.
Dépôt légal n°650
ISSN 1623-7110

EN BREF4/5

GROS PLANLaboratoire
Le laboratoire Groupe matière condensée et matériaux communique6

GROS PLANActualité
La génomique s'attaque aux virus porcins
L'Afssa bénéficie du réseau Génopole Ouest7

GROS PLANChronique culinaire
Les œufs durs tournent mal8

DOSSIER
Micro et nanotechnologies
La course à la miniaturisation.....9
De l'infiniment petit.....10
Quand l'enrobage devient micro11
Chimie mini ; micro labo.....12
Les polymères à l'échelle "nano"13
L'ère des microtechnologies14
Descente à l'échelle des nanostructures15
Macrobiologie et microélectronique16
Pour en savoir plus17

GROS PLANComment ça marche ?
Le moteur Stirling18

À L'ESPACE DES SCIENCES19

COURRIER DES LECTEURS19

AGENDA.....20/21

**Supplément
Découvrir**
Au cœur de l'atome.....



Sciences Ouest sur Internet
→www.espace-sciences.org

Du côté des entreprises

● 52 lauréats pour les "Passeports Bretagne pour entreprendre"



La onzième promotion des "Passeports Bretagne pour entreprendre" compte 52 étudiants félicités pour leur projet professionnel. Cette initiative proposée par l'association "Passeports Bretagne pour entreprendre" et le Conseil régional de Bretagne réunit différents partenaires qui ont à cœur d'aider les jeunes manquant de moyens pour créer leur entreprise ou intégrer un poste de cadre dirigeant en Bretagne. Chaque lauréat a reçu du Conseil régional de Bretagne un chèque de 800 € et bénéficie du parrainage d'un chef d'entreprise ou d'un cadre dirigeant ainsi que des facilités d'emprunts pendant trois ans auprès des deux banques partenaires. Une nette augmentation des candidatures de l'ordre de 50 % a marqué cette année. Les filières d'ingénieurs, notamment dans le secteur agroalimentaire, sont les mieux représentées. En revanche, la parité n'est pas encore à l'ordre du jour : 17 étudiantes seulement ont convaincu les jurys contre 35 de leurs collègues masculins.

→Rens. : Conseil régional de Bretagne, Odile Bruley, tél. 02 99 27 13 55, Chambre régionale de commerce et d'industrie, Vincenette Durand, tél. 02 99 25 41 67.

● Oscars d'or pour GeneSystems



Les Oscars d'Ille-et-Vilaine ont récompensé la jeune entreprise de biotechnologie GeneSystems. Ce trophée distingue avant tout l'invention de Gabriel Festoc, P-dg de l'entreprise, qui a mis au point le Genedisc Cyler (voir *Sciences Ouest* n° 182, novembre 2001). Cet appareil permet d'analyser l'ADN

des bactéries en moins d'une journée alors que les méthodes habituelles exigent une semaine. Ce gain de temps profite aux industries agroalimentaires tant pour le lancement de nouveaux produits que pour les contrôles de qualité. L'outil s'adresse également aux industries pharmaceutiques et aux professionnels de la santé.

→Rens. : GeneSystems, tél. 02 99 05 57 90, www.genesystems.fr

● Une société bretonne championne de la croissance technologique

L'idil fibres optiques a reçu récemment le prix des Champions 2002 de la croissance technologique, décerné par le groupe Deloitte et Touche à Nantes, parmi 42 entreprises candidates. Cette société située à Lannion est spécialisée dans l'ingénierie de la fibre optique et de l'optoélectronique. Cette récompense est liée à sa croissance qui a fait un bond de 1 000 % au cours des douze derniers mois.

→Rens. : Idil fibres optiques, tél. 02 96 05 40 20, info@idil.fr, www.idil.fr

● Naissance de Caps Entreprise



Caps Entreprise est une nouvelle société basée à Rennes Atalante et issue d'un laboratoire de l'Inria¹¹/Irisa¹². Ayant bénéficié pour sa création des services d'Emergys (l'incubateur d'entreprises bretonnes), elle a pour spécialité l'informatique. Caps Entreprise propose la conception d'outils de développement pour différents types de processeurs. Quatre à cinq ingénieurs prospectent d'ores et déjà les grands groupes pouvant s'intéresser à ses services.

→Rens. : Caps Entreprises, tél. 02 99 84 73 37, contact@caps-entreprise.com

Les échos de l'Ouest

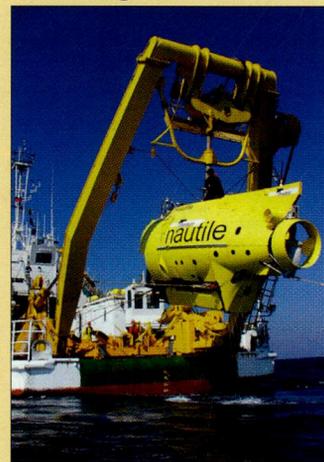
● Lifting pour la station LPO de Pleumeur-Bodou



Le centre de sauvegarde de la Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) de l'Île-Grande (Pleumeur-Bodou, 22) retrouve une seconde jeunesse suite aux dégâts occasionnés par la catastrophe de l'Erika fin 1999. L'inauguration des locaux fraîchement rénovés s'est déroulée à la fin de l'année dernière en présence de Marie-Françoise Haya-Guillaud, préfet des Côtes-d'Armor, de Pierrick Perrin, vice-président du Conseil général des Côtes-d'Armor et maire de Pleumeur-Bodou et d'Alain Bougrain-Dubourg, président de la LPO. Le bâtiment a entièrement fait peau neuve. Tous les réseaux (gaz, eau, électricité) sont maintenant aux normes et le nouveau mobilier en inox facilite le travail des membres de l'association. Souhaitons cependant qu'il s'use le moins vite possible.

→Rens. : Station LPO de l'Île-Grande, tél. 02 96 91 91 40, ile-grande@lpo-birdlife.asso.fr

● Le Nautille s'occupe du Prestige



Les interventions du sous-marin le Nautille continuent sur l'épave du Prestige en fonction des conditions océanographiques et météorologiques. Les autorités espagnoles ont en effet confié à l'Ifremer la difficile tâche de colmater les brèches du pétrolier au nombre de vingt. Pour l'instant, huit fissures seulement ont subi une intervention dont six sont totalement obturées. Ce travail de longue haleine a déjà permis de réduire le débit des fuites de 125 à 80 tonnes par jour. La grande profondeur à laquelle gît le Prestige (3 500 m) et la faible fluidité du fuel contenu dans ses cuves devraient assurer le succès de ces

opérations pendant plusieurs mois, en attendant une solution définitive.

→Rens. : Ifremer, www.ifremer.fr

● Une usine de méthanisation bientôt à Lannilis



La future usine de méthanisation de Lannilis, dans le Finistère, verra bientôt le jour. L'assemblée générale extraordinaire de la LSE (Lannilis services environnement), société qui exploitera l'usine, a autorisé sa mise en chantier pour le premier trimestre 2003, au lieu-dit Langaer. Elle traitera les boues des stations d'épuration, les effluents d'élevage et les matières organiques issues des industries agroalimentaires. Le procédé utilisé est la méthanisation, c'est-à-dire la fermentation de la matière organique, afin de produire de l'électricité, de l'eau chaude et des amendements organiques.

→Rens. : Agnès Loin, tél. 02 98 63 43 17, agnes.loin@wanadoo.fr

● Un anniversaire à Rennes Atalante



La technopole fête récemment sa 150^e Matinale sur le thème : "Quelles interfaces homme/machine pour les services de demain ?". Ces conférences-débats se déroulent tous les derniers jeudis de chaque mois (sauf en juillet et août). Les Matinales s'inscrivent dans la volonté de Rennes Atalante de promouvoir l'échange entre les entreprises de technologie, les centres de recherche et les établissements d'enseignement supérieur. Les thèmes abordés reflètent l'intérêt des participants pour les différentes technologies développées au sein de la technopole. Les intervenants sont majoritairement des représentants de l'activité rennaise. À ce jour, les Matinales en ont rassemblé 400, pour plus de 11 000 personnes.

→Rens. : Rennes Atalante, tél. 02 99 12 73 73, technopole@rennes-atalante.fr, www.rennes-atalante.fr

À lire

● Invisibles : images de l'inaccessible

"Invisibles" nous propose d'approcher l'inaccessible, de l'infiniment grand à l'infiniment petit, grâce à des images à la fois belles et impressionnantes. Au-delà du travail sur ce qui est visible et sur ce qui ne l'est pas, il s'agit d'un questionnement sur l'illusion et l'utilisation des images spectaculaires par les scientifiques, par les journalistes, par les artistes. En refermant le livre, on se demande : Peut-on croire à ce que l'on voit ?

→Patrice Lanoy, Éditions d'art Somogy - Cité des sciences et de l'industrie, 1998.



● La pêche pour tous en Côtes-d'Armor



Depuis quelques mois, un parcours de pêche a été aménagé pour les personnes âgées, handicapées ou à mobilité réduite en amont du barrage de l'Arguenon. Le Conseil général des Côtes-d'Armor a donné son feu vert pour ce vieux projet imaginé par l'Association agréée pour la pêche et la protection du milieu aquatique (AAPPMA). Le parcours de 600 m de long est équipé de trois postes adaptés dont l'entretien revient au département. Trois nouveaux postes de pêche devraient voir le jour au cours de l'année 2003.

→Rens. : Laurence Ladier, tél. 02 96 62 63 28, www.cotesdarmor.fr

● L'impact des industries bretonnes en 2001

La Drire (Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement), la DDSV (Direction départementale des services vétérinaires) et la Ddass (Direction départementale des affaires sanitaires et sociales) ont rendu le panorama 2001 de l'environnement industriel en Bretagne. On peut y lire que la pollution de l'eau par les industries stagne et connaît même une forte diminution en ce qui concerne les métaux lourds. De même, la pollution atmosphérique baisse globalement, sauf pour les composés organiques volatils non méthaniques. En revanche, la quantité de déchets industriels spéciaux augmente de manière significative.

→Rens. : Anne Beauval, tél. 02 99 87 43 50, www.bretagne.drire.gouv.fr

Du côté des labos

● Les rendez-vous santé de l'Inserm

L'Inserm⁽¹⁾ a organisé du 11 au 31 janvier des "rendez-vous santé" dans toute la France. Le grand Ouest a donc accueilli de nombreuses manifestations



visant à présenter les diverses activités de l'Institut. Au programme : conférences-débats, visites de laboratoires, démonstrations et expositions. Le grand public a pu ainsi se rendre compte de l'avancée de la recherche scientifique dans le domaine de la santé. À Rennes, ce mois particulier s'est traduit notamment par une exposition de photographies intitulée "Quand la science rejoint l'art" qui s'est tenue dans la salle du péristyle de l'Hôtel de ville du 18 au 25 janvier. L'occasion pour les habitants de la ville et de ses environs de découvrir l'étendue des travaux de l'Institut par le biais d'images originales.

→Rens. : Inserm, tél. 0 891 700 500, <http://rendezvous-sante.inserm.fr>

● Mission pour le développement européen de la recherche en Bretagne



L'Union européenne a lancé son sixième programme-cadre pour la recherche et le développement technologique. Dans ce cadre, la

Bretagne, qui se classe au sixième rang des régions françaises pour la participation de ses laboratoires aux programmes-cadres européens, se doit d'atteindre une meilleure place. C'est pourquoi le Conseil régional de Bretagne a mis en place avec l'aide de l'Université de Rennes I, l'Université de Bretagne occidentale et la D2RT⁽⁴⁾ : la mission pour le développement européen de la recherche en Bretagne. Deux ingénieurs, l'un Brestois, l'autre Rennais auront la charge d'aider les chercheurs bretons à s'organiser, créer des réseaux scientifiques à l'échelle européenne et développer des projets pouvant bénéficier de soutiens communautaires.

→Rens. : Béatrice Viale, tél. 02 23 23 37 47, beatrice.viale@univ-rennes1.fr, Matthieu Rolland, tél. 02 98 01 82 23, Matthieu.Rolland@univ-brest.fr, www.region-bretagne.fr

⁽¹⁾Inria : Institut national de recherche en informatique et en automatique. ⁽²⁾Irisa : Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires. ⁽³⁾Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale. ⁽⁴⁾D2RT : Délégation régionale de la recherche et à la technologie. ⁽⁵⁾Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

QUI A DIT ? L'invisible est réel
Les âmes ont leur monde
Où sont cumulés d'impalpables trésors
Réponse page 20

● La Commission va lancer une plate-forme industrielle de nanotechnologie

Des ordinateurs "smart dust" de la taille d'un grain de sable, des "laboratoires-pilules" qui peuvent circuler dans notre sang : les produits nanotechnologiques sont si minuscules qu'ils permettent d'économiser des matières premières, de l'énergie et du temps.

La Commission lancera en 2003 une plate-forme industrielle de nanotechnologie, afin de réunir toutes les parties prenantes du secteur au niveau de l'Union européenne. Elle attribuera aussi 700 millions d'euros à la recherche nanotechnologique (sixième programme-cadre), pour encourager les investissements dans cette discipline, dont les applications comprennent le stockage et la distribution de l'énergie, la détection, les mesures et essais, les processeurs et les techniques d'affichage, les analyses biologiques et l'administration des médicaments, la robotique et le matériel de prothèses.

→<http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/pressroom.htm>

→Rens. : Alexandre Colomb, Euro Info Centre, tél. 02 99 25 41 57, eic@bretagne.cci.fr



Internet

● www.suivi-eolien.com Un site dans le vent



L'éolien fait partie de ces énergies renouvelables qui ont le vent en poupe. L'Ademe⁽¹⁾ lui consacre donc ce site. La production française mois par mois, la situation des différents parcs éoliens de l'Hexagone, le développement de cette filière, les chantiers en cours constituent quelques-uns des thèmes abordés. Le site se veut avant tout un lieu de rencontre où les informations s'échangent entre professionnels et particuliers. Une rubrique permet à ces derniers de s'interroger sur les différents aspects du vent.

● www.natureetdecouvertes.com

Un site 100 % naturel à visiter



Les boutiques Nature & Découvertes ne s'affichent pas seulement dans les grandes villes de France depuis plus de dix ans, elles se visitent également sur Internet. Sur un site fidèle à l'esprit du magasin, l'internaute peut prendre connaissance des activités de l'entreprise avant de se lancer dans un shopping toujours respectueux de l'environnement. De nombreux liens par thèmes sont proposés ainsi qu'un annuaire détaillé des associations ou de toute autre organisation qui s'illustre dans des activités liées à la nature.

→Rens. : Nature & Découvertes, David Lachaud, tél. 01 39 56 70 44, dlachaud@nature-et-decouvertes.com

● www.orsb.asso.fr

Le site de l'Observatoire régional de la santé Bretagne propose des repères et des chiffres sur le cancer en Bretagne. D'autres informations, telles qu'une cartographie sur la disparité infrarégionale, un dossier sur "cancer, épidémiologie et prévention", ou encore le rapport remis au ministre de la Santé par la Commission d'orientation sur le cancer le 16 janvier 2003 sont également disponibles.

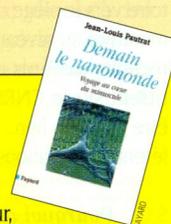


À lire

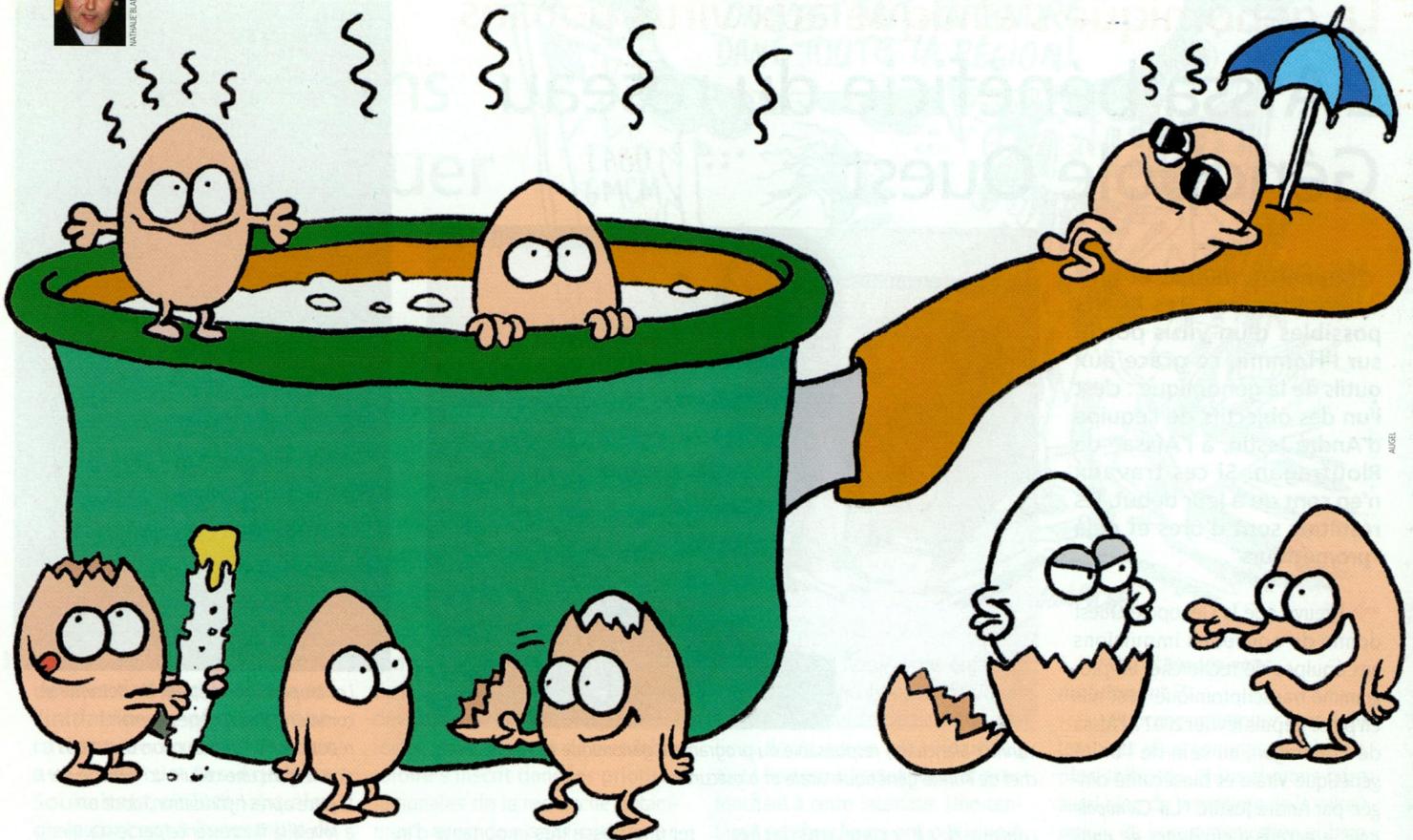
● Demain le nanomonde : voyage au cœur du minuscule

Voici une exploration fouillée du minuscule, et plus encore du nanomonde en train de se bâtir. Pour l'auteur, physicien spécialiste des semi-conducteurs, les nanotechnologies portent en elles une révolution technique et, au-delà, une véritable transformation de la société, tant enthousiasmante qu'inquiétante.

→Jean-louis Pautrat, Fayard, "Le Temps des sciences", 2002.



♥ Les "coups de cœur" sont disponibles à la bibliothèque Colombia (Rennes).



Les œufs durs tournent mal

Deux œufs. L'un est cuit, l'autre pas. Comment les différencier ? Selon certains livres de cuisine, il faut faire rouler les œufs. Seuls ceux qui n'y parviennent pas seraient frais. Hervé This, physico-chimiste à l'Inra, a vérifié cette hypothèse pour apporter une nouvelle fois des solutions inédites aux idées reçues.

→ **O**œufs durs et œufs frais se mélangent parfois dans le réfrigérateur et il n'est pas aisé de les distinguer. Certains livres de cuisine conseillent de les faire rouler : les œufs durs rouleraient convenablement tandis que les œufs frais resteraient immobiles. Vrai ou faux ? Pour prouver l'efficacité de cette astuce culinaire, le plus simple est de la tester. Faisons rouler deux œufs, l'un frais, l'autre cuit. Nous constatons qu'ils se déplacent tous les deux. Le stratagème ne fonctionne donc pas.

Peut-être suffit-il de modifier légèrement la méthode employée. Et si nous faisons tourner les œufs sur eux-mêmes plutôt que de les faire rouler ? Là encore, le truc n'est

pas infaillible : les œufs frais tournent, certes moins bien que les œufs durs, mais ils tournent quand même.

L'œuf et l'inertie

Il existe pourtant un moyen efficace de différencier un œuf frais d'un dur. Souvenons-nous du bol de café ou de chocolat du petit déjeuner. Une miette de pain tombe dans le liquide. Si nous faisons tourner le bol, le contenu de ce dernier ne bouge pas et la miette reste devant nous. Ce constat s'explique par les faibles frottements qu'exerce le bol sur le liquide, ainsi que par l'inertie du liquide. Initialement immobile, celui-ci le reste, tant qu'il n'est pas mis en mouvement par une force.

Dans un œuf frais, la situation est équivalente : le liquide contenu par la coquille est peu entraîné par la rotation de l'œuf. Toutefois, il l'est légèrement de sorte qu'il tourne si l'on fait tourner l'œuf frais. Aussi, quand on pose le doigt sur la coquille pour arrêter l'œuf, puis qu'on le relâche aussitôt, l'œuf continue sa rotation. L'explication est la suivante : le liquide à l'intérieur, qui tournait un peu, remet la coquille en mouvement.

C'est là l'astuce infaillible pour reconnaître l'état d'un œuf : le faire tourner sur un plan lisse, l'arrêter en posant très brièvement le doigt dessus et aussitôt le relâcher. S'il continue à tourner, c'est un œuf frais.

À signaler également pour les impatientes qu'il existe une méthode plus rapide qui consiste à laisser tomber les œufs par terre... ■

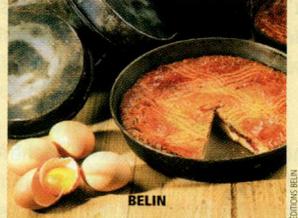
Hervé This

Hervé This
récompensé

HERVÉ THIS



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DE CUISINE



Hervé This a reçu début janvier le prix science de l'Académie nationale de cuisine pour son dernier livre intitulé *Traité élémentaire de cuisine*. Cet ouvrage paru en 2002 aux Éditions Belin apporte des réponses physiques et chimiques aux interrogations culinaires les plus anodines. Le physico-chimiste de l'Institut national de la recherche agronomique obtient donc la reconnaissance des professionnels de la cuisine. ■

R.A.

La génomique s'attaque aux virus porcins

L'Afssa bénéficie du réseau Génopole Ouest

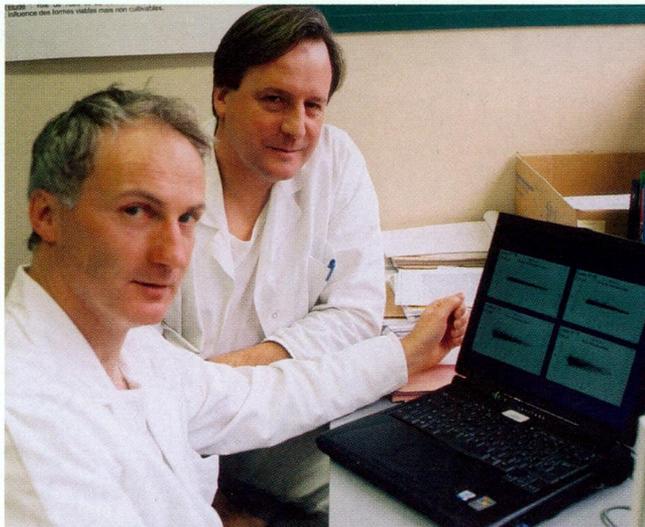
Connaître mieux, et plus rapidement, les effets possibles d'un virus porcine sur l'Homme, ce grâce aux outils de la génomique : c'est l'un des objectifs de l'équipe d'André Jestin, à l'Afssa⁽¹⁾ de Ploufragan. Si ces travaux n'en sont qu'à leur début, les résultats sont d'ores et déjà "prometteurs".

→ Preuve que la Génopole Ouest donne de nouvelles impulsions aux équipes de recherche, un programme transcriptomique⁽²⁾ est mis en place depuis février 2002 à l'Afssa de Ploufragan, au sein de l'unité génétique virale et biosécurité dirigée par André Jestin. "La Génopole nous a permis d'envisager de nous lancer dans la méthodologie des puces à ADN", considère même André Jestin. Car l'expertise toute trouvée au sein de la plate-forme biopuces de Nantes a procuré un gain de temps considérable. "L'équipe de Jean Léger (Inserm U533, université de Nantes) a essayé beaucoup de plâtres, ce qui nous permet d'avoir des méthodologies standardisées. Et d'avoir quasiment un comportement d'utilisateurs, tout en validant ses démarches en tant que plate-forme puces à ADN."

L'équipe du laboratoire, et notamment Yannick Blanchard, responsable de ce programme transcriptomique au sein de l'Afssa-Ploufragan, peut donc concentrer ses efforts sur la problématique qui se pose en virologie. À savoir : "Peut-on caractériser plus rapidement les interactions entre un virus donné et la cellule grâce aux outils de la génomique ?", résume ce dernier. Les résultats, dans l'immédiat, sont qualifiés de "prometteurs".

"Risque théorique"

Plus précisément, le laboratoire travaille sur les virus porcins, notamment sur les virus émergents et les rétrovirus endogènes, c'est-à-dire "ceux qui font partie intégrante du patrimoine génétique de l'espèce,



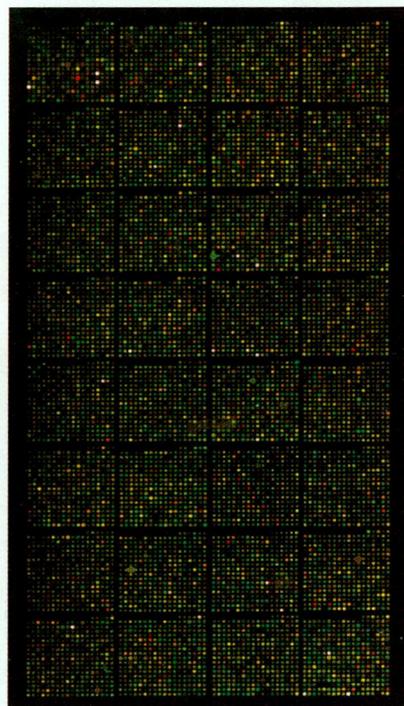
Yannick Blanchard, responsable du programme génomique et André Jestin, chef de l'unité génétique virale et biosécurité.

comme il en existe aussi chez l'Homme." Il s'agit d'évaluer leur risque potentiel de transmission à l'Homme. "Au départ, c'était dans la perspective de xénogreffes de tissus, poursuit Yannick Blanchard, mais il n'y a pas lieu de s'y limiter car d'autres produits porcins, tels certains facteurs sanguins, sont utilisés par l'Homme. Mais attention, il s'agit bien là d'évaluer un risque théorique dans un souci préventif."

La difficulté, c'est que d'un virus à l'autre, les interactions avec la cellule infectée peuvent revêtir "toutes les configurations possibles et se révéler extrêmement complexes." D'où l'intérêt de pouvoir caractériser, sans a priori, les effets induits par l'infection et, par exemple, les gènes de la cellule qui se trouvent activés ou réprimés par un virus donné. La transcriptomique devrait alors géné-

rer une masse très importante d'informations, qu'il s'agit ensuite de pouvoir exploiter, puisque les biopuces permettent de travailler en même temps sur un très grand nombre de gènes (les puces utilisées actuellement à l'Afssa-Ploufragan portent sur 10 000 gènes). Et Yannick Blanchard compte aussi, pour cela, sur l'expertise de la Génopole Ouest. Il y a déjà puisé des outils et méthodes de "normalisation" des données brutes. "C'est là que la synergie développée par la Génopole Ouest trouve tout son intérêt."

Au cœur des préoccupations des chercheurs de l'Afssa, la mise au point d'une "réponse rapide" face à l'apparition d'un virus "émergent". Lorsque se manifeste une pathologie nouvelle, "il y a toujours une période floue avant que l'on puisse en identifier l'agent causal." Dans le cas



Les biopuces permettent de déterminer comment 10 000 gènes humains répondent à l'introduction d'un virus donné dans une cellule. Ici l'image de la puce après hybridation, dont on a révélé la fluorescence par le scanner à micro-array.

de la maladie de l'amaigrissement du porcelet, apparue en 1996, "cette période se compte en années."

Car plus la recherche avance, plus les difficultés sont grandes : "Les virus les plus connus ont été les plus faciles à travailler ; ceux auxquels nous avons à faire maintenant sont plus retors. On espère donc que les outils de la génomique vont nous permettre de répondre à cette difficulté croissante." Pour l'heure, Yannick Blanchard travaille à la mise au point d'une méthodologie scientifique à partir d'un modèle de virus "simple", et déjà bien connu. "Cela nous permet de valider notre démarche, de s'assurer de la reproductibilité des résultats et aussi de générer des informations supplémentaires." Restera donc, ensuite, à l'appliquer à des modèles plus "complexes", comme celui lié à la maladie de l'amaigrissement du porcelet. ■ **B.R.**

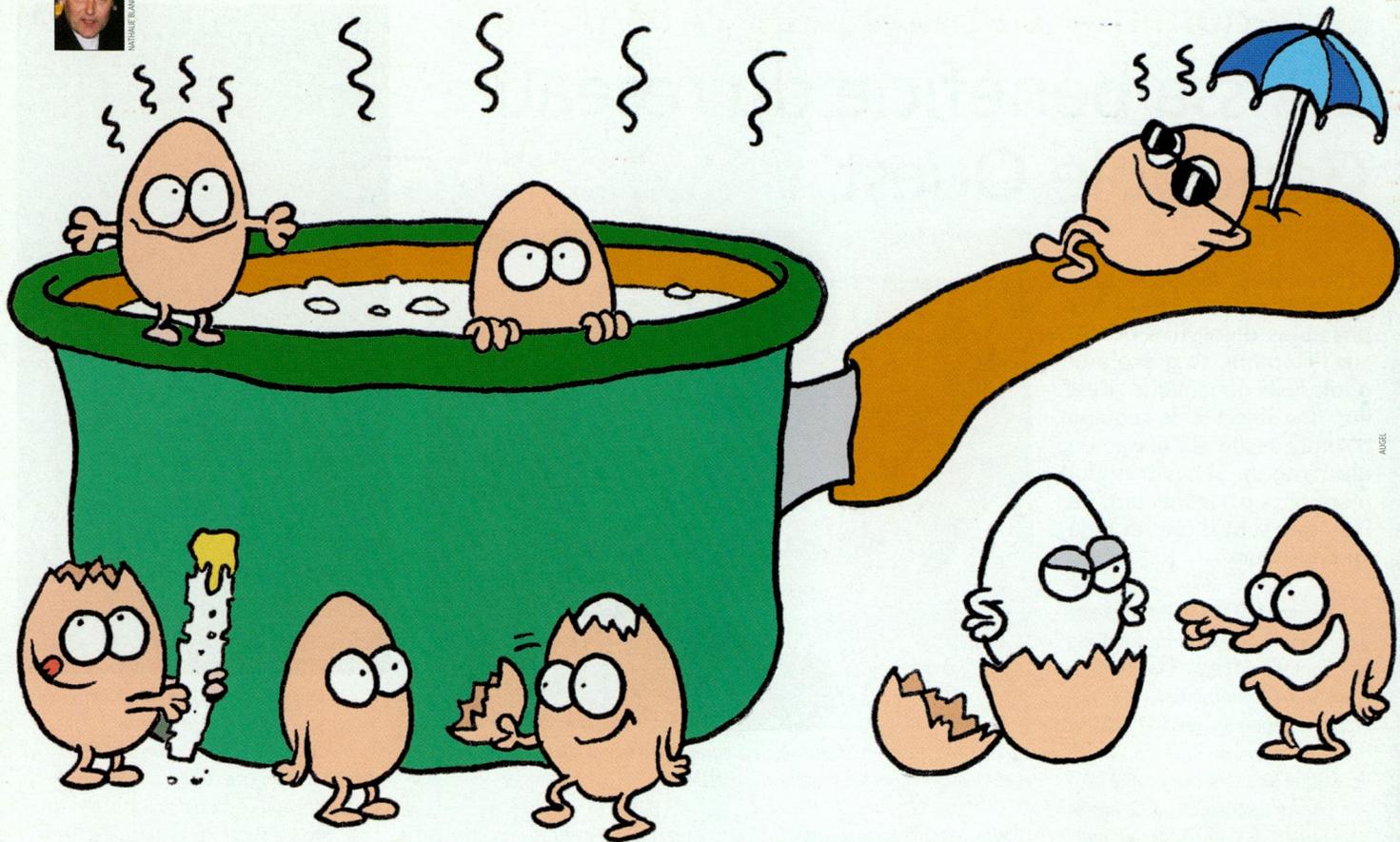
Une plate-forme génomique

"La salle est prête, nous n'attendons plus que le matériel !" se réjouit André Jestin. L'unité génétique virale et biosécurité était déjà dotée de matériel de séquençage et d'une machine pour PCR quantitative, mais lui manquaient les outils de la génomique. Ce sera chose faite très vite avec l'arrivée d'un bio-analyseur, d'une chambre à hybridation, et d'un scanner à micro-array. Un investissement d'environ 80 000 euros, financé par l'Afssa, la Région Bretagne et les fonds européens (Feder). L'objectif étant que ce matériel profite à toutes les équipes de recherche de l'Afssa-Ploufragan. "On fait avancer le dossier et la collectivité en bénéficiera", formule André Jestin. ■

⁽¹⁾ Agence française de sécurité sanitaire des aliments.

⁽²⁾ Transcriptomique : Approche permettant d'analyser l'ensemble des gènes dont la transcription est stimulée ou réprimée dans des conditions données.

Contacts → André Jestin
et Yannick Blanchard,
tél. 02 96 01 62 22,
y.blanchard@ploufragan.afssa.fr



Les œufs durs tournent mal

Deux œufs. L'un est cuit, l'autre pas. Comment les différencier ? Selon certains livres de cuisine, il faut faire rouler les œufs. Seuls ceux qui n'y parviennent pas seraient frais. Hervé This, physico-chimiste à l'Inra, a vérifié cette hypothèse pour apporter une nouvelle fois des solutions inédites aux idées reçues.

→ **Œufs durs et œufs frais** se mélangent parfois dans le réfrigérateur et il n'est pas aisé de les distinguer. Certains livres de cuisine conseillent de les faire rouler : les œufs durs rouleraient convenablement tandis que les œufs frais resteraient immobiles. Vrai ou faux ? Pour prouver l'efficacité de cette astuce culinaire, le plus simple est de la tester. Faisons rouler deux œufs, l'un frais, l'autre cuit. Nous constatons qu'ils se déplacent tous les deux. Le stratagème ne fonctionne donc pas.

Peut-être suffit-il de modifier légèrement la méthode employée. Et si nous faisons tourner les œufs sur eux-mêmes plutôt que de les faire rouler ? Là encore, le truc n'est

pas infaillible : les œufs frais tournent, certes moins bien que les œufs durs, mais ils tournent quand même.

L'œuf et l'inertie

Il existe pourtant un moyen efficace de différencier un œuf frais d'un dur. Souvenons-nous du bol de café ou de chocolat du petit déjeuner. Une miette de pain tombe dans le liquide. Si nous faisons tourner le bol, le contenu de ce dernier ne bouge pas et la miette reste devant nous. Ce constat s'explique par les faibles frottements qu'exerce le bol sur le liquide, ainsi que par l'inertie du liquide. Initialement immobile, celui-ci le reste, tant qu'il n'est pas mis en mouvement par une force.

Dans un œuf frais, la situation est équivalente : le liquide contenu par la coquille est peu entraîné par la rotation de l'œuf. Toutefois, il est légèrement de sorte qu'il tourne si l'on fait tourner l'œuf frais. Aussi, quand on pose le doigt sur la coquille pour arrêter l'œuf, puis qu'on le relâche aussitôt, l'œuf continue sa rotation. L'explication est la suivante : le liquide à l'intérieur, qui tournait un peu, remet la coquille en mouvement.

C'est là l'astuce infaillible pour reconnaître l'état d'un œuf : le faire tourner sur un plan lisse, l'arrêter en posant très brièvement le doigt dessus et aussitôt le relâcher. S'il continue à tourner, c'est un œuf frais.

À signaler également pour les impatientes qu'il existe une méthode plus rapide qui consiste à laisser tomber les œufs par terre... ■

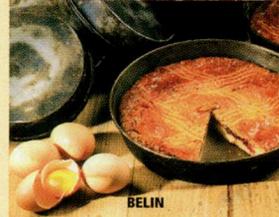
Hervé This

Hervé This
récompensé

HERVÉ THIS



TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DE CUISINE



Hervé This a reçu début janvier le prix science de l'Académie nationale de cuisine pour son dernier livre intitulé *Traité élémentaire de cuisine*. Cet ouvrage paru en 2002 aux Éditions Belin apporte des réponses physiques et chimiques aux interrogations culinaires les plus anodines. Le physico-chimiste de l'Institut national de la recherche agronomique obtient donc la reconnaissance des professionnels de la cuisine. ■

R.A.

micro et nanotechnologies

La course à la miniaturisation

Noël passé, vous avez peut-être eu l'occasion de jouer avec ces nouvelles "merveilles" qui nous viennent du Japon : des voitures télécommandées de quelques centimètres... Tout rétrécit ! Mais il existe "pire" que cela : un monde dans lequel seringues, ponts, pompes et poutres ne mesurent que quelques micromètres ; un monde où les dimensions de référence sont celles de la cellule, voire de l'atome. Soyez les bienvenus au royaume des micro⁽¹⁾ et des nanotechnologies⁽²⁾.

L'évolution des techniques est évidemment à l'origine de cette obsession de la miniaturisation. Rappelons l'invention du microprocesseur (ou puce) qui, en 1971, révolutionna d'abord l'électronique et les télécommunications mais dont les applications dépassent aujourd'hui largement ces domaines.

Mais qui parlerait de micro et de nanotechnologies si nous ne disposions pas d'instruments adéquats pour scruter ces mondes de l'infiniment petit ? Beaucoup moins médiatisée car étant plutôt une technique qu'une application commercialisable, la microscopie est pourtant la clé de tout. Bien loin des premiers microscopes grâce auxquels les scientifiques observèrent les fameuses animalcules - un changement d'échelle qui nous paraît aujourd'hui tellement banal... -, il existe maintenant des appareils impressionnants, qui permettent d'observer des nanostructures et donc d'en contrôler la fabrication et la qualité.

Ce dossier de *Sciences Ouest* vous propose un petit panorama des progrès réalisés en microscopie, avant de vous dévoiler quelques-uns des principes ou technologies systématiquement précédés des préfixes "micro" et "nano", et développés en Bretagne. "L'effet puce" continue à stimuler le domaine de l'optoélectronique, notamment avec les progrès réalisés en microlithographie (IETR, CNRS, Université de Rennes 1), et sur les microcomposants, les scientifiques apposent des matériaux dont la composition a été contrôlée à l'échelle du plan atomique (Insa - Rennes).

Dans d'autres domaines, l'agroalimentaire, la cosmétique ou la pharmacologie tirent profit de la microencapsulation de substances actives (société Polaris-Quimper) ; de nouveaux revêtements sont mis au point grâce à des travaux très précis sur les polymères (UBS - Lorient) ; des robots travaillant au micron près permettent de réaliser des réactions chimiques en haut débit (Institut de chimie - Rennes) ; enfin, des informations précieuses peuvent être récoltées à partir de microsondes portées, sans gêne, par des animaux marins (Ipev - Brest).

Miniaturisation : un concept qui nécessite des adaptations, engendre de nouvelles habitudes, et de nouvelles façons de travailler. Créatrice d'innovation et de progrès, elle ne doit cependant pas faire oublier le monde dans lequel nous évoluons ! ■

N.B.

⁽¹⁾ Micromètre : $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$

⁽²⁾ Nanomètre : $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$

De l'infiniment petit...

Découvert à fin du XVI^e siècle (sans que l'on puisse l'attribuer à un inventeur déterminé), le microscope a révolutionné la science. La microscopie optique a permis la compréhension de la cellule et du monde "macro" (mm). La génération suivante : la microscopie électronique a permis d'appréhender le monde "micro" (μm). Aujourd'hui, les nouveaux appareils utilisant l'effet tunnel, par exemple, nous permettent de commencer à appréhender le "nano" (nm). Revue de détails.

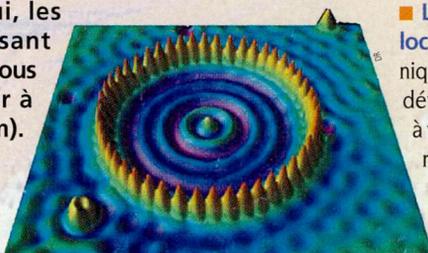
Les précurseurs

→ La microscopie optique est la technique la plus ancienne. Son principe général consiste à utiliser des lentilles grossissantes, afin d'observer un sujet vivement éclairé. Mais elle est très limitée en résolution : on ne peut augmenter le grossissement, sans diminuer la netteté de l'image, au-delà de 0,25 μm .

En 1931, des physiciens allemands, Knoll et Ruska, eurent l'idée de remplacer les photons par des électrons pour former des images. Plusieurs inventions découlent de cette idée :

■ **La microscopie électronique à transmission** : c'est la technique la plus performante. Le faisceau d'électrons est focalisé sur la préparation, à l'aide de lentilles électromagnétiques, et la traverse. Les électrons sont plus ou moins absorbés et une image se forme derrière la préparation sur un écran fluorescent. On peut obtenir un grossissement plusieurs milliers de fois supérieur à celui de la microscopie optique. Seul "ennui", les interactions peuvent détériorer l'objet observé, en particulier lorsqu'il s'agit de cellules vivantes.

■ **La microscopie électronique à balayage** utilise également un faisceau d'électrons pour illuminer l'échantillon, mais ne comporte pas de lentille après celui-ci. L'échantillon bombardé "réagit" en émettant d'autres électrons, appelés électrons secondaires, qui sont captés pour former un point lumineux sur un écran. Le faisceau d'électrons incidents balaie la surface de l'échantillon dont l'image apparaît sur l'écran avec une grande profondeur



Atomes de carbone observés en microscopie à champ proche.

de champ, donnant l'impression d'une image en trois dimensions. On peut améliorer l'image, en recouvrant, par exemple, l'échantillon d'une mince couche d'or. De plus, le point d'impact du faisceau d'électrons émet non seulement des électrons secondaires, mais également des rayons X dont l'analyse permet d'établir la composition chimique de l'échantillon observé. ■

La microscopie à l'échelle "nano"

→ Depuis une quinzaine d'années, grâce aux progrès réalisés en informatique, de nouvelles méthodes d'observation ont vu le jour. En voici les principales.

■ **La microscopie confocale** est basée sur la microscopie à fluorescence. Mais ici, la source lumineuse est un laser. Du coup, la zone éclairée est limitée dans l'épaisseur de l'échantillon. Le reste de la préparation reste sombre. En balayant tout l'objet avec le laser, on dispose alors de la luminosité de tous les points de la préparation qui peuvent être alors analysés par ordinateur et réunis pour obtenir une image en trois dimensions.

■ **La tomographie numérique** : cette technique consiste à acquérir en microscopie optique un grand nombre d'images de différentes parties du sujet observé. Ces images comportent évidemment des zones nettes et des zones floues. Mais leur analyse informatique va permettre,

en les comparant, de ne conserver que les zones nettes (compactage d'image). La limite, ici, tient à l'informatique et à la puissance de calcul.

■ **La microscopie à sondes locales** : c'est certainement la technique qui est promise aux plus forts développements dans les années à venir. Elle s'est rapidement généralisée dans les laboratoires de recherche et plus récemment dans certaines industries, depuis le Prix Nobel de Rohrer et Binnig (1982). Elle permet de descendre à l'échelle des molécules, voire des atomes.

On distingue trois grandes familles de microscopie à sondes locales : ● La microscopie à effet tunnel (STM : Scanning Tunneling Microscope) ● Les microscopies de forces (AFM, LFM, MFM, EFM) ● Les microscopies optiques en champ proche (PSTM, SNOM).

Tous ces appareils dérivent en fait d'un phénomène physique, découvert en 1960 par le physicien américain I. Giaever, qui a permis d'apporter la première preuve de validité de la mécanique quantique, soit le fait qu'une particule parvienne à franchir une barrière de potentiel* d'une énergie supérieure. L'effet tunnel consiste dans le passage d'une particule à travers cette "barrière" ! Gamow a pu expliquer que l'émission de particules α , par les noyaux radioactifs, ne s'explique que par un effet tunnel. Dit plus simplement, imaginez un lapin dans une tour de briques. À moins qu'il ne puisse sauter plus haut que le mur, l'animal restera prisonnier. Cette métaphore illustre ce qui se passe en physique classique. Du point de vue quantique, il existe une possibilité pour que, dans certaines conditions, le lapin puisse se glisser dans le mur et s'échapper. Disons qu'une "fonction d'onde" définit le "lapin quantique" comme pouvant exister un peu au travers du mur. Cela lui permet de s'y glisser... Mais plus le mur s'épaissit, plus ses chances d'évasion s'amenuisent.

Dans le microscope à effet tunnel STM, l'extrémité sous tension d'une pointe est rapprochée à une distance

nanoscopique d'une surface à observer. Le tout se déroule sous vide, l'espace entre la pointe et la surface représente ici le "mur". Les électrons, transportés par les atomes, obéissent aux lois quantiques et peuvent donc se "faufiler" au travers du vide (le mur). En situation classique, les électrons confinés à leur surface ne pourraient sortir à moins qu'on leur donne un petit "coup de pouce" pour qu'ils franchissent la barrière de vide, un peu comme notre lapin classique. En réalité, les électrons quittent la surface jusqu'à la pointe - une légère différence de potentiel favorise la direction des "faufilements" -, créant ainsi un courant électrique. L'effet tunnel est très sensible à la distance séparant la pointe de la surface : si celle-ci devient supérieure à 1 nm, aucun électron ne traverse. La clé principale du STM réside dans cette sensibilité, car en cartographiant les courants générés au passage de la pointe dirigée, on transforme en image la distribution topographique des électrons de cette surface. En utilisant cette méthode, on atteint des résolutions de l'ordre de 0,2 nm ! Cet appareil arrive même à distinguer des variations aussi petites que 0,001 nm (approximativement le centième du diamètre d'un atome).

La plupart des matériaux conduisent très peu l'électricité et, de surcroît, même les métaux, facilement oxydables, s'avèrent souvent difficiles à observer. Pour remédier à ce problème, on a légèrement modifié le STM pour le transformer en AFM (Atomic Force Microscope) : le microscope à force atomique mesure la force électrique agissant sur la pointe plutôt que le courant transmis par celle-ci. Autrement dit et de façon très simplifiée, l'AFM mesure la cause (force électrique) plutôt que la conséquence (courant transmis) du changement d'équilibre. Et comme cette force dépend elle aussi de la distance séparant la pointe de la surface, cela confère à l'AFM des capacités comparables au STM, sans ses inconvénients. ■ **J.F.C.**

* Barrière de potentiel : partie de l'espace qui se trouve à un potentiel plus élevé que celui qui règne dans les régions qui l'entourent. En physique classique, une particule ayant une énergie inférieure à celle de la barrière ne peut la pénétrer. En mécanique quantique, au contraire, on prévoit que la particule peut traverser si son énergie reste supérieure au potentiel de la région qui se trouve derrière la barrière.

Quand l'enrobage devient micro

Comment passer d'un produit liquide à une poudre très fine sans altérer l'ingrédient de départ ? Une question que se sont posés de nombreux industriels pendant des années. Aujourd'hui, la solution existe et permet le développement de nombreux produits dans le domaine de l'agroalimentaire, de la cosmétique ou de la pharmacologie. Cette technologie porte un nom : le microenrobage ; elle est développée par une entreprise basée dans les environs de Quimper.

→ On pourrait se poser la question de l'intérêt d'encapsuler des substances. Pourtant il s'agit d'un problème majeur qui peut freiner le développement d'une activité industrielle. Stéphane Lozachmeur est directeur commercial de Polaris. La société située à Quimper a mis au point un nouveau procédé de microenrobage : "Il s'agit d'un procédé très avantageux pour les industriels. Dans plusieurs domaines tels que l'agroalimentaire, la cosmétique ou la nutraceutique, ils peuvent être confrontés à de nombreux problèmes. Notre travail est de fournir à ces industriels des formes microenrobées, donc solides, de produits liquides ou très pulvérulents. La forme solide simplifie grandement les manipulations : il n'est plus nécessaire de manier des pompes pour les liquides dans les chaînes de production. La manipulation et le dosage se font plus simplement, «à la cuillère».



Le microenrobage peut être appliqué aux poudres comme aux liquides.

De même, certains produits sont très volatils : certaines poudres ne peuvent pas être exposées à l'air libre sans qu'il y en ait partout ! La microencapsulation permet d'obtenir le même produit, mais sous forme d'une poudre plus dense, facilement exploitable."

Le goût et l'odeur

Polaris a été créée en 1994. Il a fallu trois ans de recherche pour mettre au point ce procédé. Ses créateurs, Gildas Breton et Stéphane Lozachmeur sont très intéressés également par les huiles issues de poisson (les fameux acides gras Oméga 3). La démonstration de l'intérêt du microenrobage est ici probante. Les huiles de poissons sont caractérisées par une odeur, une saveur et une texture peu agréables

au palais et aux narines. Pourtant, ces lipides ont de fortes vertus nutritionnelles. Il suffit donc de masquer le goût et l'odeur de ces derniers pour obtenir un produit bénéfique pour la santé sans en avoir les inconvénients gustatifs ! De même, les produits surgelés n'ont plus à subir l'agression du sel qui les "cuit" à son contact. Le sel est encapsulé, il suffit de déterminer une température de fusion de l'enrobage qui permettra à ce dernier de n'être libéré qu'au moment de la cuisson. Ce point de fusion de la matrice d'enrobage est choisi simplement. Il peut varier de 28 à 70°C. Il est donc possible d'utiliser ces microcapsules en cosmétologie ou pour des huiles de massage "solides" qui fondent au contact de la peau.

Un autre avantage des substances microenrobées est la diffusion continue dans le temps. En effet, l'enveloppe étant constituée de matière neutre totalement assimilable par l'organisme, les enzymes digestives la digèrent progressivement. 45% de la coque est digérée six heures après son ingestion. Cette cinétique étant parfaitement connue, il est possible de libérer le principe actif enrobé au niveau de l'intestin grêle, par exemple, ou de manière continue dans l'organisme. Quitte à pratiquer un "double coating" en enrobant la substance de manière différente, deux fois successivement.

Le développement

Aujourd'hui, Polaris emploie 11 personnes et est installée depuis deux ans en périphérie de Quimper. La quasi-totalité de son activité est destinée à l'exportation. Grâce à des collaborations régulières en Italie, en Espagne, en Allemagne ou en Suisse, Stéphane Lozachmeur est confiant en ce qui concerne le développement de l'entreprise. Les marchés en Israël ou aux États-Unis commencent à s'ouvrir. Une personne est actuellement en place au Québec pour préparer l'installation de Polaris outre-Atlantique. ■ V.D.

Débit différé

L'enrobage est constitué de matière grasse végétale naturelle, non oxygénée, non OGM totalement assimilable par l'organisme. Ce "coating" représente 5 à 25% du poids total de la microcapsule qui mesure quant à elle entre 50 µm et 3 mm. Le principe actif est donc totalement protégé des agressions extérieures. Cela évite de le dénaturer (oxydation, hygroscopie, lumière, pH, évaporation...). Par exemple, le fer interagit avec les acides gras Oméga 3. En isolant ces derniers par microenrobage, les deux composants peuvent cohabiter au sein d'une même chaîne de production.



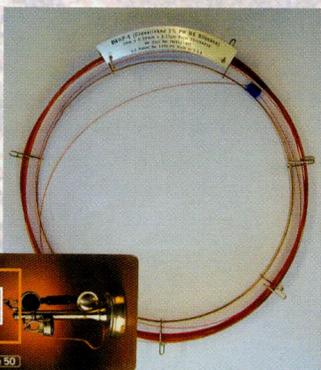
Stéphane Lozachmeur, directeur commercial de Polaris.

Contact → Polaris,
Stéphane Lozachmeur,
tél. 02 98 54 84 20, contact@polaris.fr

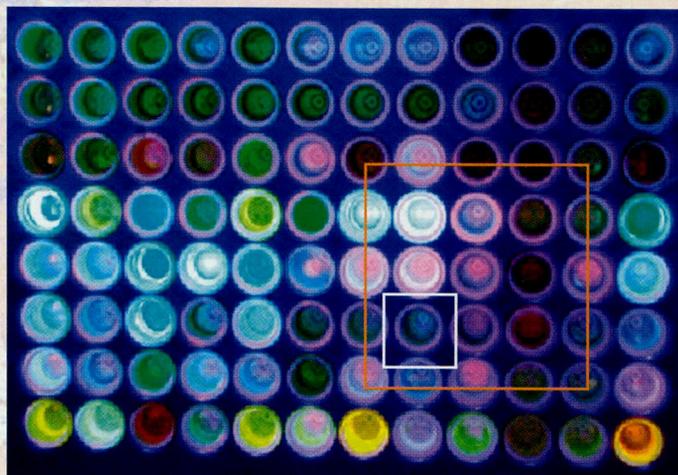
Chimie mini ; micro labo

Les paillasses des laboratoires de chimie touchent leur part dans la course à la miniaturisation. Un concept qui engendre de nouvelles habitudes de travail, fait appel à de nouvelles technologies et permet parfois de nouvelles découvertes... Le point avec Olivier Lavastre, un féru de microtechnologies.

→ Une des premières questions que l'on peut se poser est pourquoi vouloir tant miniaturiser ? "Ce besoin peut d'abord être directement lié à une application comme par exemple la réalisation de microparticules comme vecteur de principes actifs dans le domaine de la santé (cf. équipe P. Le Corre, Pharmacie Rennes), commence Olivier Lavastre, chercheur dans l'UMR 6509 CNRS-Université de Rennes 1, Institut de chimie et coordinateur de la plateforme CITRennes (Centre innovation et technologie Rennes), spécialisée en Expérimentation à haut débit (EHD). En EHD, miniaturiser permet d'augmenter le nombre de réactions simultanées et donc de gagner du temps mais aussi d'utiliser moins de réactifs chimiques et de solvants dans les premières phases d'un projet de recherche." Cette démarche est d'autant plus enrichissante qu'elle nécessite de développer de nouveaux outils et de nouveaux concepts.



La microlithographie permet de réaliser des colonnes de chromatographie de la taille d'une puce de carte téléphonique, équivalente, en terme de pouvoir de séparation, à une colonne de 2 m de long.



Exemple de microréacteurs. Ici des microspots de films polymères dont l'objet de la réaction est la recherche de nouveaux capteurs chimiques.

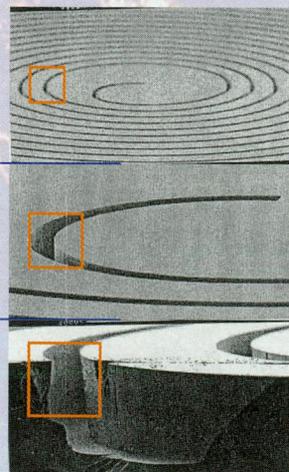
Sur la distribution de produits, tout d'abord. Si distribuer de 50 nl à 500 µl de liquide ne pose pas trop de problèmes, distribuer de petites quantités de solide est en revanche plus compliqué car les différences de textures d'un solide à l'autre sont plus variées (comparer de la farine et du sable). Mais des robots sont maintenant capables de peser des substances à 0,1 mg près et ce, de façon automatisée, sur plusieurs centaines d'échantillons. Une technologie par spray permet par ailleurs de déposer des microgouttes (de l'ordre du nl) avec une très bonne résolution et le dépôt en film continu à gradient permet de faire varier les concentrations avec beaucoup de précision. "Ces techniques ouvrent de nouveaux champs d'investigation, comme la fabrication de nouveaux matériaux de surface, par exemple, précise Olivier Lavastre. Leurs propriétés étant directement liées à leur microstructure et non plus seulement à leur composition chimique." (Voir article sur les polymères, ci-contre).

Concernant maintenant les réactions proprement dites, béchers et ballons laissent la place à trois types de microréacteurs. Les microcavités (ou puits) de 5 à 500 µl de volume utile sont disposées sur des plaques de côté pouvant en contenir jusqu'à 1536. Les microréacteurs poreux permettent de tester encore plus d'échantillons en même temps. Il s'agit de petites billes de 10 à 500 µm (1 g de billes contient entre 15 000 et

2 millions de billes) comportant des points de fixation chimique. Enfin les microtubes (100 µm de diamètre) constituent une des dernières évolutions des microréacteurs : ils rendent possibles mélange et chauffage, ce qui n'est pas le cas dans les microcavités.

Le troisième aspect qui change avec la miniaturisation est l'analyse d'échantillons de si petits volumes. Si certains outils étaient déjà au point, comme les techniques de microscopie, d'autres techniques ont été développées spécialement pour l'occasion. Une des plus récentes est l'imagerie spectroscopique. Le principe : une analyse en spectroscopie infrarouge de l'échantillon donne un spectre pour chacun des pixels de l'échantillon ; des spectres qui, après analyse informatique, permettent de donner une image dite spectroscopique, c'est-à-dire qui rend compte des différences chimiques avec une résolution latérale de 4 µm. Le principe est applicable en spectroscopie de masse avec une résolution encore meilleure (40 nm) car l'analyse se fait dans ce cas au niveau des éléments chimiques. "L'imagerie spectroscopique a ceci d'intéressant qu'elle est pluridisciplinaire : recherche de lipides sur un morceau de peau, analyse de la corrosion des matériaux en électronique, de prélèvements de terre en environnement, en agroalimentaire, pharmacie... La microtechnologie en général est un outil qui s'applique à un grand nombre de domaines !", poursuit Olivier Lavastre.

Toujours en analyse, la microchromatographie ouvre aussi de nouvelles perspectives. Directement liée aux progrès réalisés en microlithographie, la chromatographie est ici réalisée dans une microrainure (200 µm de largeur) disposée en spirale pour tenir sur une puce (concept du "lab on ship"). Sa surface active est assez grande pour analyser une quantité infime de produit avec le même pouvoir de séparation que celui obtenu sur une colonne de 2 m de long. "On est ici dans le concept de l'analyse portable, précise-t-il. Il faut bien comprendre que les technologies dont nous venons de parler permettent de cribler un grand nombre d'échantillons en même temps, mais ne vont pas remplacer les méthodes classiques. Celles-ci gardent en effet toute leur utilité pour effectuer des tests plus poussés, une fois qu'un candidat correspondant à l'objectif visé est trouvé. Un point intéressant concernant la miniaturisation vient du fait que la diminution très forte de l'échelle des expériences scientifiques peut entraîner des phénomènes différents de ceux rencontrés à l'échelle macroscopique. Et cela peut parfois présenter des surprises..." ■ N.B



Différents zooms de microrainure qui, disposée en spirale, peut tenir sur une puce (concept du "lab on ship").

Contact → Olivier Lavastre, CITRennes (CNRS, Université de Rennes 1, Institut de chimie) chimie combinatoire organométallique, tél. 02 23 23 56 30, olivier.lavastre@univ-rennes1.fr

D'autres particules

Les dernières années, grâce aux accélérateurs, les chercheurs sont parvenus à découvrir de nouvelles particules : muons, taus, quarks bas, haut, étrange, charme, beauté, top et neutrinos... ●

Neutrinos, les fantômes de l'univers



Depuis 20 ans, dans des laboratoires enterrés à plusieurs centaines de mètres sous terre, des chercheurs traquent d'étranges particules, partout présentes et pourtant jamais vues : les neutrinos.

Découpez un petit carré de papier de 1 cm² et posez-le sur une table. Chaque seconde, 30 milliards de neutrinos vont le traverser ! Car les neutrinos sont d'incroyables fantômes. Ils sont légion (ils pourraient même représenter 90 % de la matière de l'univers !) et quasiment indestructibles (ce sont les plus vieux fossiles de l'univers, certains ont 15 milliards d'années, et sont "nés" juste après le big-bang) ; ils sont si petits qu'ils traversent la matière sans s'arrêter ; du coup... on n'en a pratiquement jamais vu...

C'est le physicien Wolfgang Pauli (en même temps que Fermi) qui le premier émit l'idée, en 1930, de l'existence de ce qu'il appelait alors des "neutrons". Il avait remarqué que certains noyaux d'atomes se transformaient en un autre noyau, avec émission de "rayons β " (béta), en fait, l'émission d'un électron. Or, la masse de cet électron ne correspond pas exactement à la masse perdue lors de la transformation du noyau. Autrement dit, il y a d'autres particules émises, mais invisibles. Aujourd'hui, on les observe en plaçant d'immenses piscines sous terre, pour que les rayonnements parasites soient arrêtés, et que seuls les insaisissables neutrinos soient observés. Grâce à des myriades de capteurs, on va alors regarder les infimes traces lumineuses que laissent les neutrinos qui entrent en collision avec une particule d'eau. Or, il y a là un mystère. On ne détecte ainsi qu'un tiers des neutrinos qui théoriquement devraient être observés ! "C'est qu'il y a vraisemblablement trois types de neutrinos et que nous ne savons en détecter qu'une seule « espèce »", affirment les chercheurs.

L'intérêt de cette recherche ? Les neutrinos peuvent révéler l'existence d'objets célestes, invisibles ou indécélables comme les "trous noirs". Ensuite, les connaître est indispensable pour comprendre la structure de la matière. Enfin, ils pourraient être la clé d'une grande énigme : 90 % de la matière de l'univers est invisible... ●

Un petit poids... lourd

Grâce à une gigantesque cuve contenant 50 000 tonnes d'eau (baptisée Super-Kamio-kande), située à 800 m sous terre, les Japonais viennent de faire mieux que de photographier le neutrino. Grâce aux 4 700 particules capturées, ils sont parvenus à déterminer sa masse : 10 millions de fois plus petite que celle d'un électron !

Cette découverte est très importante. Puisque le neutrino a une masse (on pensait jusque-là qu'il n'en avait pas et qu'il était un grain d'énergie, comme l'est par exemple le photon qui constitue la lumière), et que chaque étoile en produit des milliards par seconde, il est possible de penser que 90 % de cette matière manquante de l'univers est constituée de... neutrinos. Il est donc fondamental de mieux connaître ces particules. D'autant plus que les Japonais ont également montré que les neutrinos ont une curieuse particularité : ils changent sans arrêt d'état. Ils prennent une charge électrique (ils sont alors indétectables pour les appareils dont on dispose aujourd'hui) puis ils redeviennent neutres (et sont alors détectables) et ceci sans arrêt, des milliards de fois chaque seconde ! Comprendre ce phénomène permettra peut-être de mieux comprendre comment s'est créé l'univers, et quel sera son devenir. ●



CLIN D'ŒIL...



À LIRE, À VOIR, À FAIRE...

- "Matière et antimatière" de Maurice Duquesne, Collection Que sais-je ? n° 767.
- "La matière première" de Michel Crozon, Éditions du Seuil.
- "La première seconde" d'Hubert Reeves, Éditions du Seuil.
- "La lumière des neutrinos", Éditions du Seuil.

S'il y a beaucoup de sites Internet consacrés à la matière, peu sont accessibles au grand public. Signalons toutefois :

- <http://www.unil.ch/sc/pages/bazar/articles/phys/electricite/atome.htm> qui donne un bon historique et est accompagné de schémas très clairs.

- <http://voyage.in2p3.fr/>

Un site très bien fait qui a reçu plusieurs prix.

Prochain dossier : La radioactivité
(en complément indispensable de celui-ci)



L'antimatière, une énergie pour le futur ?

L'antimatière a fait fantasmer tous les écrivains de science-fiction et des chercheurs du monde entier. On se souvient, par exemple, des "propulseurs à antimatière" du vaisseau "Enterprise", dans la série culte TV "Star Trek"... Une idée aussi folle qu'excitante pour les physiciens. En effet, on sait qu'un atome d'antimatière entrant en contact avec un atome de matière provoque une mini-explosion, dégageant une énergie "considérable", mille fois supérieure à une réaction nucléaire "normale" ! On estime qu'une voiture d'antimatière rencontrant une voiture de matière produirait une énergie équivalant à 50 millions de bombes type Hiroshima ! De quoi supprimer la Terre.

Comment alors contrôler l'énergie dégagée, la transporter, la stocker... ? Comment obtenir une émission continue d'énergie ? Le nucléaire, infiniment moins énergétique, demande déjà des installations immenses, coûteuses et délicates à surveiller. Alors qu'en serait-il d'un réacteur à antimatière ?

Un jour pourtant, on arrivera sans doute non seulement à conserver l'antimatière, mais également à contrôler son emploi. Rien n'empêche alors d'imaginer un "canon à antimatière" - non pas à des fins militaires : l'antimatière dans l'air exploserait immédiatement - mais pour éliminer certains déchets industriels, toxiques, nucléaires... tout en récupérant de l'énergie ! Bref, l'antimatière industrielle, ce n'est pas pour demain, mais de très nombreuses équipes travaillent d'ores et déjà à préparer sa naissance. ●



L'antimatière

L'exploit a été réalisé sous terre, quelque part sur la frontière entre la Suisse et la France, dans l'immense complexe du laboratoire européen de physique des particules (Cern*) : la production de 9 atomes "d'antimatière" ! La récompense de près de 70 ans de recherches...

Mais qu'est-ce que l'antimatière ? Un atome d'hydrogène est constitué d'un noyau composé d'un proton, autour duquel tourbillonne un petit électron. Ça, c'est la matière. L'antihydrogène, est l'exact jumeau de l'hydrogène, mais "inverse". C'est-à-dire qu'à la place d'un électron négatif on trouve un positon (positif, e^+) et à la place du proton (positif) on trouve un antiproton (p^- , négatif). Ça, c'est l'antimatière.

La grande difficulté, pour les physiciens, tient au fait que lorsqu'une antiparticule rencontre une particule... les deux s'annulent immédiatement en émettant une très grande quantité d'énergie. Il est donc très difficile, dans notre monde de matière, de produire de l'antimatière sans risquer... une explosion. ●

Fabriquer de l'antimatière

Dans l'expérience du Cern, les physiciens ont utilisé des protons. Placés dans un accélérateur de particules (voir ci-contre), ils sont envoyés pour percuter un groupe d'atomes d'hydrogène. Sous le choc, les noyaux éclatent, libérant des protons, des électrons, de l'énergie et... des antiprotons (on connaît cette manipulation depuis 1933). On a alors expédié ces antiprotons (facilement canalisés par les aimants) contre des atomes de gaz xénon. Sous le choc, ces derniers éclatent, produisant entre autres des antiélectrons. Toute l'astuce de la manipulation réside alors à réunir les deux types de particules pour constituer un atome d'antihydrogène. Un seul problème, cette antimatière a une "vie" très brève, 30 milliardièmes de seconde, avant d'exploser en rencontrant les capteurs de matière placés sur leur chemin pour les détecter. ●

Mais où sont passées les antiparticules du big-bang ?

C'était... il y a 15 milliards d'années. Il n'y avait "rien" sinon une petite boule d'une densité inouïe et d'une température dépassant plusieurs trillions de degrés. En se refroidissant de quelques millions de degrés, cette boule explosa, ce que l'on appelle le big-bang. Une explosion colossale, dont on trouve aujourd'hui encore les traces fossiles, qui libéra des quantités phénoménales de particules et... d'antiparticules ! Le tout s'éloignant du point d'explosion à des vitesses proches de celle de la lumière.

Les astrophysiciens qui sondent l'univers, avec des instruments de plus en plus perfectionnés, sont pourtant bien intrigués. Alors que tous les calculs confirment la présence d'antimatière lors du big-bang, personne n'a encore réussi à en observer ! Où est donc passée l'antimatière ? A-t-elle constitué quelque part, un antimonde, peuplé, qui sait, d'antihommes ? S'ils existent, pas question en tout cas d'aller leur serrer la main sauf à risquer un phénoménal coup de foudre ! ●

*Centre européen pour la recherche nucléaire.



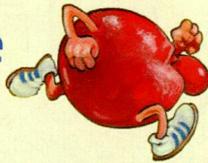
! FAIS UN PEU FONCTIONNER TA MATIÈRE GRISE !

ENCORE FAUT-IL EN AVOIR !!

PERSONNELLEMENT J'AI L'IMPRESSION DE NE DISPOSER QUE D'ANTI-MATIÈRE GRISE !

NICOLAZ

La première brique de la matière: l'atome



La Terre, l'air, l'eau, les êtres vivants..., tous les corps de la nature sont constitués d'un assemblage d'atomes (ou d'assemblages d'atomes : les molécules). Chaque atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent (circulent) des électrons (e^- , de charge négative), qui tournent à des vitesses prodigieuses, formant une sorte de "nuage". Le noyau est lui-même constitué de protons (p^+ , de charge électrique positive) et de neutrons (n , neutres électriquement). Il existe beaucoup d'atomes différents (hydrogène, oxygène, plomb, cuivre...) mais tous sont fabriqués à partir des mêmes neutrons, protons et électrons ! ●

La taille d'un atome

Le diamètre du nuage électronique de l'atome est de l'ordre de 10^{-10} m. Pour imaginer cette petite taille, il suffit de savoir que pour atteindre un centimètre, il faudrait aligner... cent millions d'atomes !

Le noyau est encore plus petit : 10^{-15} m de diamètre. Il est donc 100 000 fois plus petit que l'atome ! Et tout l'espace "immense" qui sépare le noyau des électrons, c'est du vide. ●

Mais, comment ça marche ?

Qu'est-ce qui fait que les électrons "restent" autour du noyau ? Et bien, c'est que dans la nature, les objets sont soumis à des forces qui s'exercent à distance : un peu comme l'aimant attire le fer. Il y a plusieurs forces :

- L'interaction forte, qui s'exerce à des distances courtes. C'est elle qui assure la cohésion du noyau, en "collant" fortement les protons et les neutrons.
- L'interaction électrostatique qui fait que des charges électriques opposées s'attirent. Elle assure la cohésion de l'atome.
- La gravitation qui fait qu'une masse attire les autres masses. C'est ce qui permet à la Terre de tourner autour du Soleil, et qui nous empêche de flotter dans l'air... ●

Les accélérateurs de particule

Pour découvrir et/ou observer les particules constituant les noyaux des atomes (la matière est constituée d'atomes), les chercheurs utilisent des "accélérateurs de particules". En effet, aucun appareil n'est capable, aujourd'hui, de détecter un noyau ! Même le plus gros microscope est incapable d'une telle prouesse ! On ne peut donc les étudier... qu'en les faisant éclater, et en analysant ce qui est libéré. C'est à ça que servent les accélérateurs.

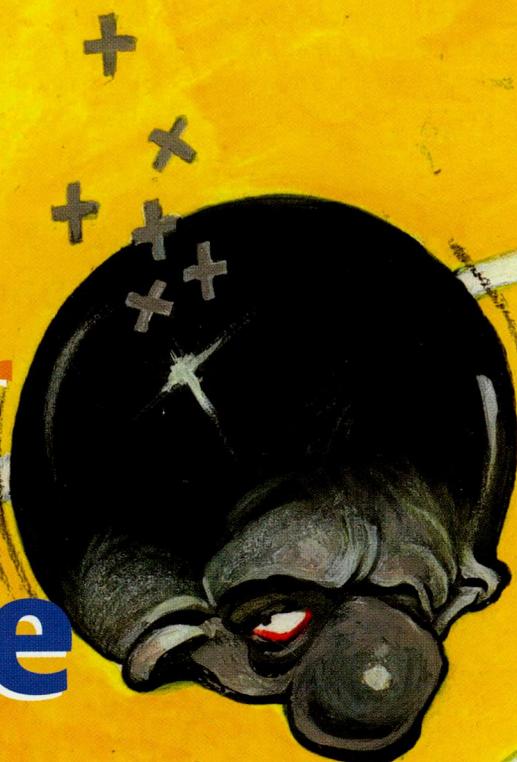
Il s'agit en fait de longs tunnels cylindriques, entourés de gros aimants. On peut comparer ces appareils à ce que fait un "lanceur de marteau" lors d'une épreuve d'athlétisme. Il fait tourner à toute vitesse son poids, attaché au bout d'une corde, qu'il lâche pour lancer le marteau. Dans l'accélérateur, les aimants jouent le rôle de la corde : à chaque tour de la particule dans le tunnel, celle-ci gagne de la vitesse (proche de celle de la lumière, soit près de 300 000 km/s). "Reste" à la "lâcher" au bon moment, pour l'envoyer percuter un groupe d'atomes choisi. Sous le choc, les noyaux éclatent, libérant les particules, qui sont enregistrées et photographiées. La suite consiste à interpréter ces images, mais ça, c'est un autre problème, qui fait appel à des calculs très complexes. ●



SCIENCES *Ouest*

Découvrir
à la découverte des sciences

Au cœur de l'atome



La matière dans tous ses états...

C'est le philosophe grec Démocrite qui, au IV^e siècle avant notre ère, imagina le premier la matière comme un assemblage de particules ultimes et indivisibles : les atomes (atomos : qui ne peut être coupé). Il faudra attendre la fin du XVIII^e siècle pour que le physicien anglais Dalton reprenne l'idée et en fasse une éclatante démonstration. Cependant, les scientifiques ont montré depuis que l'atome est lui-même constitué d'entités plus petites, et les chercheurs n'en finissent pas de découvrir des "particules" de plus en plus petites, insaisissables et mystérieuses, régies par des lois étranges et encore mal comprises.



NIKOLAZ

Les polymères à l'échelle "nano"

Installé depuis quatre ans dans les locaux de l'Université de Bretagne sud (UBS-Lorient), le Laboratoire polymères et procédés (L2P, Unité propre de l'enseignement supérieur UPRES N° 2592) développe ces dernières années une toute nouvelle approche des polymères, en s'y intéressant à l'échelle nanoscopique... Explications avec le professeur Yves Grohens son directeur.

→ Le monde des polymères (voir encadré) est en train de connaître une véritable révolution. L'apparition des nouveaux moyens d'investigation permet en effet de pénétrer la structure des matériaux d'une façon encore jamais atteinte et de découvrir de nouvelles propriétés. "Oui, affirme Yves Grohens, on peut dire que le domaine des polymères est touché de plein fouet par les nanotechnologies. En ce qui concerne le L2P, cela se traduit par trois grands axes de recherche. Le premier est celui des nanocomposites. Jusqu'à présent, pour renforcer la résistance mécanique des polymères, on cherchait à associer le plus parfaitement possible ces derniers avec des fibres (verre, carbone...) ayant un diamètre de l'ordre du micron et une longueur pouvant aller du millimètre à quelques centimètres. Depuis cinq ans, nous travaillons sur une toute nouvelle échelle, puisque nous nous «attaquons» à des objets de l'ordre du nanomètre ! Il ne s'agit plus de fibre, mais de «feuillets» d'argile (montmorillonite) qui vont s'exfolier et se disperser dans le polymère. Nous attendons de cette technologie des performances mécaniques multipliées par dix et une forte augmentation des propriétés «barrière» : blocage de l'oxygène, de l'eau..."

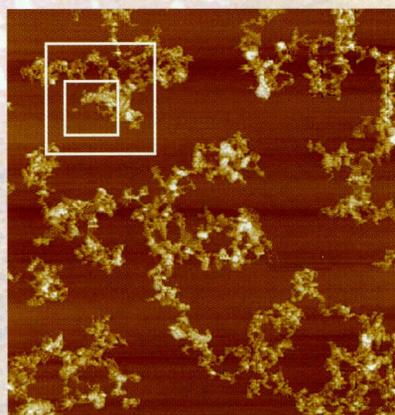
Si les premières propriétés sont apparues aux chercheurs, tout n'est pas encore réglé pour l'instant. "Pour mettre au point de tels matériaux, nous devons surmonter un certain nombre de pièges. Il faut en effet une dispersion parfaite et homogène des

feuillets, ainsi qu'une forte accroche du polymère sur ces derniers. Pour cela, nous explorons trois pistes :

■ Le brassage mécanique, en jouant sur le cisaillement et la température, mais il semble qu'il reste toujours des agrégats de feuillets.

■ La séparation chimique : on introduit des molécules tensioactives qui vont avoir pour effet d'écarter les feuillets un peu comme des «coins», ce qui va laisser la place au polymère de pénétrer entre les feuilles.

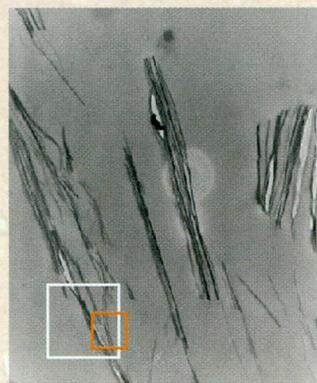
■ Enfin, utiliser ces molécules tensioactives pour initier une polymérisation in situ ! La polymérisation se faisant



Agrégats d'amidon sur une surface de mica sondée en AFM (taille de l'image 1 µm sur 1 µm).

ici directement entre les feuillets !"

Quelles sont les applications de telles techniques ? "Elles sont nombreuses... Dans le domaine des emballages, bien sûr, mais également dans le domaine biomédical. Nous avons d'ailleurs actuellement une thèse en préparation sur un silicène possédant une résistance à l'arrache-



Cliché de microscopie électronique à transmission de nanocharge exfoliée (échelle de l'image 150 nm).

ment beaucoup plus forte que ce qui existe aujourd'hui, et une plus faible perméabilité à l'eau."

Le L2P explore également une deuxième voie : "Un autre domaine très prometteur est celui des revêtements. Que ce soit les peintures, les vernis..., nous savons aujourd'hui réaliser des couches de l'ordre du micromètre. Nous travaillons sur une technique dite de «spinning», qui consiste à utiliser des produits très dilués, et à les répartir sur les surfaces par centrifugation. Nous obtenons ainsi des couches parfaitement homogènes ou de morphologie contrôlée et d'une épaisseur de quelques nanomètres, ce qui confère au produit beaucoup plus de sensibilité qu'en couches plus épaisses. Cela est très important, par exemple, dans la création de nouveaux types de capteurs ayant un temps de réponse quasi immédiat et une sensibilité infiniment plus grande." (NDLR : cela est particulièrement utile dans la recherche de solvants (COV), d'enzymes... in situ. Pour cela, on introduit dans le polymère des nanocharges (carbone, par exemple) ou des molécules luminescentes, fluorescentes... À partir d'un certain taux de détection, ou de température, le polymère cesse par exemple d'être conducteur, ou change de couleur...).

"Troisième voie de recherche, les polymères biodégradables. Pour expliquer simplement cette recherche, je dirais qu'il existe sur le marché des produits contenant par exemple 50 % d'amidon et 50 % de polymère syn-

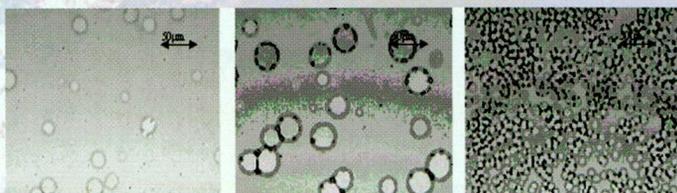
Les polymères

Un polymère est un composé organique provenant de la combinaison stable de plusieurs molécules simples, appelées monomères. Cette union, qui donnera des composés qualifiés monomères, dimères, trimères..., s'obtient par :

■ **Polyaddition** : réactions permettant de faire passer un monomère (d'un seul type) contenant une ou plusieurs doubles liaisons carbone-carbone (C=C) ou un cycle, à l'état de polymère. On obtient cela en "ouvrant" la double liaison (ou le cycle) par différents moyens : lumière, chaleur, activateur chimique comme le peroxyde... Les radicaux très instables vont ainsi se combiner entre eux jusqu'à l'état stable du polymère.

■ **Polycondensation** : série de réactions grâce auxquelles, en partant de monomères (d'un seul type ou de 2 types différents), mais contenant chacun au moins deux groupes fonctionnels, capables de réagir avec ceux de l'autre, on parvient à l'état stable de haut polymère (jusqu'à plusieurs centaines de monomères). Cette réaction s'accompagne de l'élimination d'une molécule, H₂O ou HCl. Notons que c'est à la classe des hauts polymères qu'appartiennent nombre de constituants fondamentaux de la vie, comme les protéines, la cellulose, ou encore divers éléments naturels d'intérêt industriel (soie, coton, polymères vinyliques, caoutchoucs, composites...). ■ J.F.C.

thétique biodégradable. Nous sommes convaincus que la proportion d'amidon pourrait considérablement augmenter, si nous parvenions à comprendre ce qui se passe à l'échelle nanoscopique (structures d'hélices multiples, agrégats) pour améliorer les performances de ces mélanges. Or, aujourd'hui, nous en avons parfaitement les moyens grâce aux progrès de l'AFM." (Voir page 10). Alors, gardons l'œil ! ■ J.F.C.



Démouillage contrôlé sur une nanocouche de polymère (microscopie optique).

Contact → Yves Grohens, directeur du laboratoire L2P, tél. 02 97 87 45 08, yves.grohens@ubs.fr

L'ère des microtechnologies

Microaiguilles, microponts, micropoutres, micro-interrupteurs, microfilaments chauffants..., voici quelques exemples du type de produits réalisés par le groupe microélectronique, codirigé par Olivier Bonnaud à l'Institut d'électronique et de télécommunications de Rennes (IETR). Rencontre et explication.

→ L'équipe d'Olivier Bonnaud - 35 personnes - travaille sur les micro-systèmes depuis 1984. Des systèmes qui, au départ, trouvaient leurs applications exclusivement dans le domaine de l'électronique. "Mais depuis 5 à 6 ans, nous parlons de microtechnologies. C'est-à-dire que nous travaillons toujours sur les technologies microélectroniques, mais les applications sont maintenant dirigées vers des systèmes non électroniques, comme la médecine et la thérapie génique par exemple", explique Olivier Bonnaud.

À la base de ces microsystèmes, encore appelés Mems (Micro Electro Mechanical System), un mélange d'électronique - des transistors (voir ci-dessous) - et de mécanique.

"Nous tirons profit des propriétés mécaniques et électroniques des composants, propriétés qui dépendent du dépôt et du traitement appliqués au matériau", poursuit-il. C'est ainsi que les chercheurs du groupe Microélectronique ont appliqué leurs connaissances fondamentales dans les procédés de fabrication à de nombreux dispositifs, généralement en silicium polycristallin utilisé pour ses bonnes qualités mécaniques, et mis en place des procédés dits basse température pouvant être développés sur des substrats peu coûteux de grande surface (en verre). Les microsystèmes sont fabriqués en salle blanche (voir page ci-contre) et nécessitent d'être contrôlés en microscopie optique ou électronique à balayage. ■ N.B.

Les microstructures de surface (poutres ou ponts)

Les poutres ou les ponts constituent les éléments de base de la microtechnologie ; ils se déplacent notamment sous un effet électrostatique. Le but : réaliser



des capteurs, des actionneurs, des microinterrupteurs. Mais si la faisabilité de

ces microinterrupteurs a été démontrée, ils sont encore peu fiables et les applications restent donc limitées. Les travaux sont plus avancés en ce qui concerne les microcapteurs d'ambiance : la maîtrise de la fabrication de transistor film mince et de ponts a permis de mettre au point des structures pouvant détecter, par exemple, la présence d'un gaz. Une application fait actuellement l'objet d'un contrat de recherche entre le groupe microélectronique, ST Microelectronics Rennes et l'IXL de Bordeaux (Laboratoire d'intégration des systèmes électroniques). Il s'agit de capteurs d'humidité utilisés pour le contrôle de la fiabilité de composants microélectroniques intégrés, montés dans des boîtiers hermétiques et destinés à l'industrie spatiale. ■

chauffer localement un gaz qui, par déplacement de membrane, peut servir de micropompe pour des dispositifs de microfluidique. Cette étude a été menée en collaboration avec le Laboratoire de systèmes intégrés (LSI) de Sao Paulo (Brésil). Ces microfilaments sont utilisés dans le développement de microsystèmes à application médicale par les collègues brésiliens. Ils peuvent être notamment intégrés dans des microseringues. ■

Les microseringues

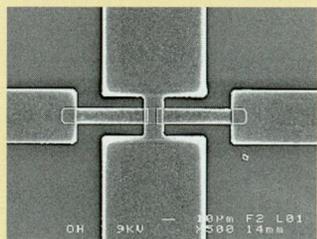
Les microseringues sont en phase de développement, en collaboration avec le LSI de Sao Polo (Brésil), l'Inserm et l'IETR. Leur fabrication met en œuvre des étapes technologiques particulières passant par la réalisation de microcanaux. Elles peuvent servir à la fois à des microinjecteurs et à des analyses de sang en neurobiologie et en anesthésie opératoire. Outre l'aspect de la miniaturisation, ces domaines d'application imposent en plus de tenir compte de la biocompatibilité des dispositifs ! ■

Les biocapteurs

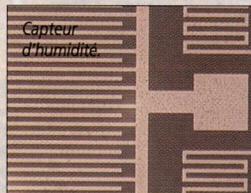
Les biocapteurs ou puces à cellules sont des outils de biotechnologie utilisés en thérapie génique, et aujourd'hui en pleine phase de développement. Un projet de ce type a été mené par le groupe microélectronique et l'équipe Biomis de l'antenne rennaise de l'ENS Cachan, qui travaille également avec l'unité Inserm 522 et la société STMicroelectronics - toutes deux également sur Rennes - (voir Sciences Ouest n° 193 - novembre 2002). Concrétisation de la collaboration entre biologistes, électroniciens et industriels, ces biopuces sont de véritables prouesses technologiques : les cellules y sont d'abord fixées dans des microchambres, grâce à des anticorps. L'ADN à transférer est alors amené par des microcanaux (7 µm de diamètre et 100 µm de long), puis pénètre dans les cellules par microélectroporation. Dernière phase, il est possible de détecter, par effet électrostatique, les cellules qui ont bien reçu l'ADN et de tuer les autres. ■

Le transistor, un composant de base en électronique

Le transistor se comporte comme une vanne électrique qui, par un signal électrique de commande sur une électrode, permet le passage ou non d'un courant important entre deux autres électrodes. La technologie de fabrication des transistors a évolué de façon incroyable depuis sa découverte en 1948. De dimension millimétrique à l'origine, leur taille est aujourd'hui inférieure au dixième de micron (un dix-millième de millimètre) dans les technologies dites fortement intégrées. Dans ce cas, ils sont fabriqués principalement dans du matériau semi-conducteur massif (essentiellement du silicium). Le groupe microélectronique s'est spécialisé dans la réalisation de transistors en couche mince à base de silicium déposé sur des substrats tels que le verre. Le matériau est alors polycristallin ce qui confère aux transistors des propriétés spécifiques et qui permet leur intégration dans les microsystèmes. ■



Transistor couche mince à "air-gap" ou grille suspendue, pouvant servir de capteurs de gaz.

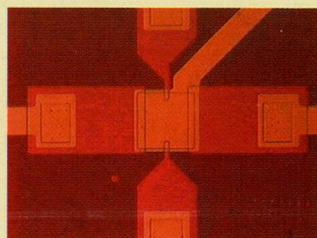


Les microspirales

Leur centre est fixé par une liaison physique avec le substrat sous-jacent et la spirale peut bouger grâce au retrait d'une couche sous-jacente, appelée sacrificielle, qui libère l'ensemble de la spirale. Ce principe permet de détecter la présence de contraintes mécaniques au sein même de la couche déposée et de mesurer un changement de longueur, par exemple. Ce sont donc des structures de test pour contrôler des étapes de procédés. ■

Les microfilaments

Composés en silicium polycristallin déposé et dopé par du bore ou du phosphore, ils peuvent servir de micro-résistances chauffantes. La technique maîtrisée au laboratoire par Michel Sarret est le dopage *in situ*, c'est-à-dire en cours de dépôt, ce qui minimise le nombre d'étapes technologiques de fabrication. Ces microfilaments peuvent, par exemple,



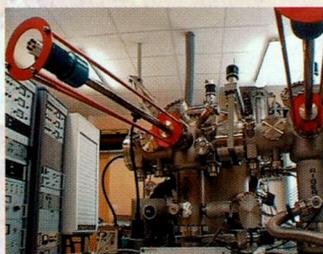
Capteur magnétique à base de transistors film mince au silicium polycristallin réalisé sur substrat de verre mettant en œuvre une microtechnologie de surface.

Contact → Olivier Bonnaud, responsable du groupe Microélectronique de l'IETR, tél. 02 23 23 60 71, olivier.bonnaud@univ-rennes1.fr

Descente à l'échelle des nanostructures

Dans ce dossier sur l'infiniment petit, *Sciences Ouest* ne pouvait ignorer les activités du Laboratoire d'études des nanostructures en semi-conducteurs de l'Institut national de sciences appliquées (Insa) de Rennes. Un laboratoire d'ailleurs nouvellement rebaptisé pour que ses travaux, portant généralement sur des composants optoélectroniques, soient mieux identifiés. Découverte.

→ Rien de bien visible à première vue dans le Laboratoire d'études des nanostructures à semi-conducteurs (Lens) de l'Insa, dirigé par Slimane Loualiche. Normal, puisqu'il est question ici, non pas de micro, mais de nanostructures, c'est-à-dire des dispositifs de l'ordre de 10^{-9} m (le milliardième de mètre ; pour égaler le diamètre d'une pointe de stylo, il faudrait empiler un million de ces nanostructures...). L'équipe - 34 personnes - travaille sur la conception de composants optiques intégrés qui, à notre insu, jalonnent maintenant notre vie quotidienne. Derrière les fibres optiques, dont les capacités de transmission de données ont révolutionné depuis plusieurs décennies le paysage des télécommunications, se cachent en effet lasers, détecteurs, modulateurs et autres filtres... qui œuvrent à une bonne transmission du signal. Car celui-ci nécessite en effet d'être souvent régénéré... Cette problématique constitue donc une des préoccupations principales des chercheurs et des ingénieurs en télécom et n'échappe pas aux scientifiques du laboratoire Lens qui, de l'élément chimique de base au composant final, travaillent notamment sur la mise au point de systèmes de régénération optique (absorbants saturables) et de lasers très stables (à îlots quantiques), dans le cadre



Réacteur d'épitaxie.

de contrats avec la Région Bretagne, le ministère de l'Industrie, Alcatel et France Télécom.

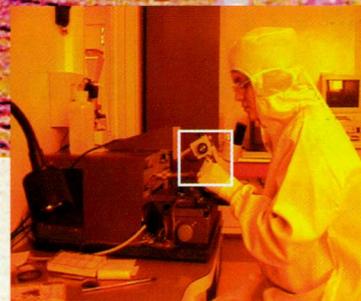
La matière première de ces composants est constituée de matériaux semi-conducteurs 3-5, c'est-à-dire issus des colonnes 3 et 5 du tableau périodique des éléments : aluminium (Al), gallium (Ga), indium (In), arsenic (As) et phosphore (P), choisis et utilisés pour leurs propriétés de détection mais surtout, ici, d'émission de la lumière. Ils émettent en effet sur une longueur d'onde caractéristique ($1,55 \mu\text{m}$) qui se propage avec une faible atténuation dans la silice, le constituant principal des fibres optiques.

L'étape de fabrication des composants commence par l'élaboration de nanostructures en semi-conducteurs (puits ou îlots quantiques), créées dans un réacteur par épitaxie (jets moléculaires). Les atomes sont pour cela évaporés sous ultraviolette et

viennent se déposer en s'ordonnant précisément sur la trame d'un substrat. La croissance est réalisée couche atomique par couche atomique, à la vitesse d'une couche par seconde et la nature des atomes peut changer à chaque plan, selon la structure à réaliser (puits ou îlot quantique). "On peut comparer cette construction à celle de l'étal d'un marchand de fruits qui empilerait des pommes rouges et vertes, explique notre interlocuteur. Lorsque plusieurs plans de pommes vertes sont entourés de pommes rouges, on parle de puits quantiques ; lorsqu'un groupe de pommes vertes est caché à l'intérieur de pommes rouges, on parle d'îlots quantiques." La croissance des structures est contrôlée au plan atomique près, soit une épaisseur inférieure au nanomètre, avec des techniques très particulières, adaptées à cette échelle (diffraction rapide d'électrons rasants).

À la fabrication font suite des étapes de caractérisation optique et électrique de la structure. Là encore, il faut s'adapter aux caractéristiques des dispositifs. Il est en effet impossible de mesurer avec des appareils classiques des temps de régénération optique de l'ordre de la picoseconde (10^{-12} seconde ou ps, la lumière parcourt 1 mm en 3 ps alors qu'elle met 8 mn environ pour nous parvenir du Soleil) permis par les absorbants saturables. Ces derniers sont fabriqués à l'occasion d'un projet financé par France Télécom, et ont d'ailleurs fait l'objet d'un dépôt de brevet en l'an 2000. Précisons que le laboratoire de nanostructures de l'Insa Rennes est le seul au monde à pouvoir réaliser des absorbants saturables aussi rapides, comme l'illustre son record mondial de 0,4 ps, qui lui vaut une renommée internationale.

Enfin, la fabrication des composants optoélectroniques proprement dits se termine en salle blanche, à l'abri des poussières et sous atmosphère contrôlée (voir encadré). Des couches de métaux



Les salles blanches

Les salles blanches sont des endroits très particuliers où règne une ambiance calfeutrée.

Température constante de 21°C indispensable à la bonne stabilité des produits, filtres UV aux fenêtres pour protéger les produits sensibles à la lumière et turbines de filtration de l'air pour éliminer les poussières, on y entre vêtu de chaussons aux semelles antipoussières et d'une combinaison à capuche pour y réaliser gravure et lithographie.

Il existe deux salles de ce type à Rennes en milieu académique : l'une commune à l'IETR et au Centre commun de microélectronique de l'Ouest (CCMO) et l'autre à l'Insa. Outre les activités de recherche décrites ici (voir articles), ces salles servent également à la formation des étudiants des établissements d'enseignements nationaux et à la formation continue. Elles ont aussi une mission de salle blanche de proximité en nanosciences et nanotechnologies reconnue par le ministère de l'Enseignement dans le cadre du réseau national en nanotechnologies. ■

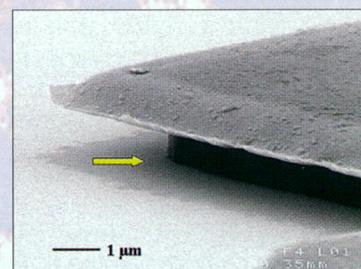
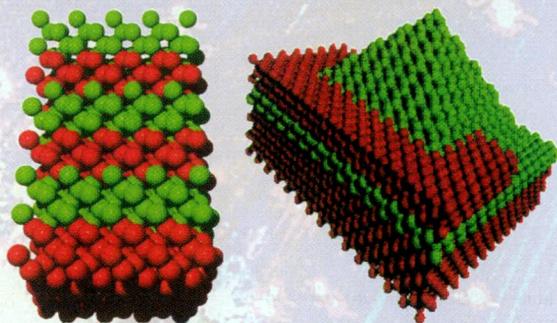


Photo d'un métal surplombant une nanostructure obtenu par le procédé lift-off.

fabriqués et caractérisés précédemment sont déposées selon des motifs extrêmement précis qui peuvent aller de 30 à $100 \mu\text{m}$ pour les plus grands et de 1 à $3 \mu\text{m}$ pour les plus petits. Un véritable travail d'orfèvre. ■ **N.B.**

Contact → Slimane Loualiche, directeur du Laboratoire d'études des nanostructures en semi-conducteurs de l'Insa, tél. 02 23 23 86 19, slimane.loualiche@insa-rennes.fr

Schémas d'îlots et puits quantiques réalisés par épitaxie.



Macrobiologie et microélectronique

Afin d'étudier les populations d'animaux dans les régions polaires, les scientifiques utilisent des émetteurs et des sondes de plus en plus précis et de plus en plus petits. L'intérêt de la miniaturisation est évident : ces appareils sont placés directement sur les animaux. Ils peuvent même être ingérés. Les progrès en électronique permettent donc aujourd'hui de recueillir des données physiologiques qui facilitent la compréhension des comportements à l'échelle d'une population.

→ L'Ipev⁽¹⁾, basé à Brest, collabore avec de nombreuses équipes de chercheurs pour mener à bien ses expéditions dans les régions polaires. Les thématiques sont variées et font intervenir des scientifiques de nombreuses disciplines. Parmi ceux-ci, l'équipe d'Henri Weimerskirch du Centre d'études biologiques de Chizé (CEBC). Ce laboratoire dans lequel travaillent une vingtaine de personnes est spécialisé dans l'écologie des oiseaux et mammifères marins. Les sujets de recherche gravitent donc autour d'une problématique de biologie des populations et de comportement animal en relation avec leur environnement. Des disciplines pour lesquelles une très grande quantité de données doit être récoltée pour comprendre les variations démographiques et comportementales des populations d'animaux.

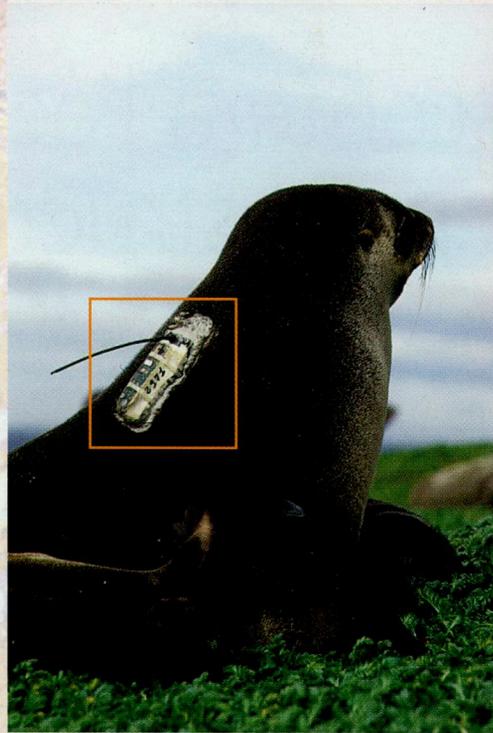
Pour étudier ces dernières, la technique la plus répandue est celle de la capture-recapture. Il s'agit de

marquer les animaux, de prendre leurs mesures (taille, masse...) et de les relâcher. En les recapturant à nouveau par la suite, il est possible d'obtenir un suivi relativement précis de chaque individu. En marquant une grande quantité d'animaux, c'est toute la dynamique de la population qui peut être extrapolée.

La première révolution qui a eu lieu pour les biologistes dans les années 80 fut l'utilisation de la reconnaissance satellitaire grâce aux balises Argos. "En les apposant sur les individus, explique Henri Weimerskirch, ces balises ont permis de suivre avec une grande précision les individus. Elles ont facilité le travail et ont permis d'identifier différentes zones où venaient s'alimenter ou se reproduire les animaux." L'équipe que dirige ce chercheur s'intéresse particulièrement aux oiseaux et mammifères marins. En collaboration avec l'Ipev, des recherches sont menées dans les régions polaires.



Des sondes stomacales permettent de mesurer la fréquence cardiaque des albatros.



GPS apposé sur le dos d'une otarie.

"Suivre des oiseaux et des mammifères marins est plus simple que de travailler sur des animaux strictement aquatiques, remarque le chercheur. Il est plus aisé de poser des sondes et de manipuler des oiseaux que des poissons." Le développement de l'électronique et la miniaturisation des équipements ont permis d'explorer de plus en plus de voies. En dix ans, une simple balise Argos est passée de 200 g à 18 g. Aujourd'hui, la localisation par GPS permet de suivre très précisément les déplacements. À chaque seconde, il est possible de savoir où se situe l'animal qui est équipé de l'émetteur.

Physio et Bio Pop

De même, les progrès réalisés en électronique ne se cantonnent plus à la simple localisation des individus. Les sondes utilisées aujourd'hui peuvent mesurer une très grande quantité de paramètres. Ces derniers permettent de donner à l'écologie une autre dimension. En effet, il est maintenant possible d'obtenir des données sur les profondeurs auxquelles plongent les différentes espèces, et également des informations physiologiques relatives à l'état des individus. Ainsi, des sondes stomacales ont été mises en place sur des albatros. En mesurant leur fréquence cardiaque, il a été démontré que le vol de plusieurs milliers de kilomètres qu'ils effectuaient en période de reproduction

pour trouver de la nourriture ne leur coûtait pas plus d'énergie qu'au repos sur la banquise ! De la même manière, ces micros sondes ont pu mettre en évidence les comportements des animaux qui plongent pour se nourrir : les manchots préfèrent le jour et les otaries la nuit.

Le réchauffement chronique engendré par le phénomène El Niño aux abords de l'Antarctique modifie les données pour les animaux. L'équipe de Henri Weimerskirch s'intéresse, entre autres, aux incidences de ce phénomène sur les populations résidentes. Les micros sondes ont pu expliquer pourquoi, lors d'un réchauffement de l'environnement, la population de manchots Empereur périssait alors que cela ne semblait pas affecter les manchots Adélie. En effet, ces derniers trouvent leur nourriture dans une banquise disloquée (une des conséquences d'un réchauffement de l'eau) alors que les manchots Empereur dépendent du krill⁽²⁾ qui se fait moins abondant lors d'une augmentation de la température. ■

V.D.

⁽¹⁾ Institut Paul-Émile Victor.
⁽²⁾ Plankton marin à la base de la chaîne alimentaire Antarctique.

Contact → Henri Weimerskirch,
Centre d'études biologiques de
Chizé, 79360 Villiers-en-Bois,
www.cebc.cnrs.fr

Pour en savoir plus

S'informer

■ RMNT



Le Réseau de recherche en micro et nanotechnologies (RMNT) est un des réseaux de recherche technologique dont la création avait été annoncée par le Premier ministre lors des Assises de

l'innovation, et dont le but est de favoriser, sur des domaines jugés prioritaires par le gouvernement, des transferts technologiques entre la recherche publique et les entreprises. Le champ d'application du RMNT concerne le dimensionnement, le fonctionnement, la fabrication collective et la caractérisation d'objets de très petites dimensions pouvant aller jusqu'à une taille moléculaire.

Rens. → www.rmnt.org

■ Le club nanotechnologie



Depuis 1990, le club nanotechnologie favorise, en collaboration avec les instances scientifiques nationales, les synergies entre industriels et laboratoires, au travers du courrier du club, de groupes de travail, manifestations, séminaires spécialisés sur des thèmes d'actualité. Il existe des clubs dans différentes régions de France mais pas encore dans l'Ouest...

Rens. → www.clubnano.asso.fr

■ OMNT

Fondé par le Leti et le CNRS, l'Observatoire des micro et nanotechnologies (OMNT) anime un réseau de 200 experts, décideurs de l'industrie et de la recherche. L'OMNT organisait à Paris, le 29 janvier dernier, un séminaire illustrant l'importance des progrès accomplis dans des domaines de l'instrumentation pour la biologie, l'électronique moléculaire, les matériaux et composants pour l'optique, les nanotechnologies et les microsources d'énergie.

Rens. → www.leti.cea.fr/Leti-FR/M_an-report-fr/Divers-fr/report-OMNT-fr.htm
<http://www.minatec.com/index0.htm>

■ Minatec



Lancé à l'initiative du CEA-Léti Grenoble et de l'Inpi Grenoble, Minatec a pour ambition de devenir le pôle d'innovation et d'expertise majeur en Europe sur les micro et nanotechnologies.

Rens. → <http://www.minatec.com>

À lire

■ L'évolution du secteur des semi-conducteurs et ses liens avec les micro et nanotechnologies

Rapport sur l'évolution du secteur des microprocesseurs demandé par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques au sénateur Claude Saunier. Le document a été remis le 21 janvier 2003 et conclut que ce secteur est promis à un bel avenir et que les entreprises françaises et européennes ont un rôle important à jouer ; il est consultable sur le site du Sénat à l'adresse suivante :

→ <http://www.senat.fr/opepst/rapports.html>

■ Électronique. Plongée dans le nanomonde

→ *Les défis du CEA* n° 91 - mai, juin 2002

■ Nanotechnologies. La révolution du minuscule

→ *Science & Vie* n° 1021 - octobre 2002

■ Quand les matériaux deviennent moléculaires...

■ Les nanoparticules : un nouvel état de la matière pour de nouveaux matériaux

→ *Sciences Ouest* n° 191 - septembre 2002.

Dossier sur les matériaux

■ Un nouveau type de biopuce pour la recherche médicale

→ *Sciences Ouest* n° 193 - novembre 2002

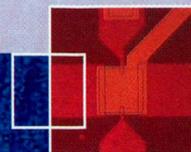
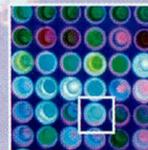
Conférences

■ Tech Innov 2003

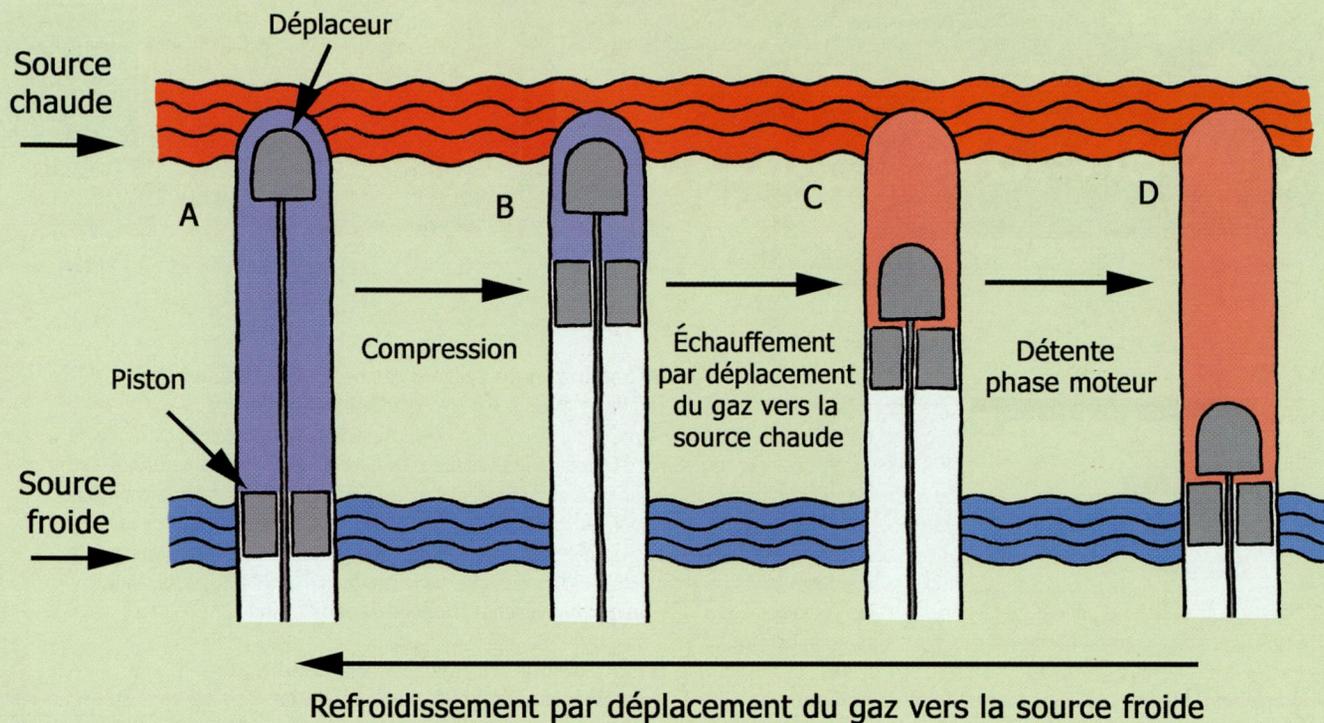
Du 29 septembre au 3 octobre 2003

Une semaine de conférences et de démonstrations réelles sur l'automatisation et la miniaturisation des équipements scientifiques. Une thématique qui touche des domaines très variés comme les biotechnologies et les puces à ADN, la protéomique, l'environnement, l'agroalimentaire, l'agriculture...

Rens. → CITRennes, Olivier Lavastre,
olivier.lavastre@univ-rennes1.fr,
<http://www.citrennes.univ-rennes1.fr>



PRINCIPE DU MOTEUR STIRLING



Le moteur Stirling

Les moteurs à combustion interne (essence, diesel ou GPL), qui équipent nos voitures, nous sont plus ou moins familiers. D'autres types de moteurs beaucoup moins connus ont vu le jour et l'un des plus anciens est le moteur Stirling à combustion externe. Son inventeur, le pasteur Robert Stirling, déposa un brevet en 1816 ! Sur quel principe fonctionne-t-il ?

→ Le moteur Stirling est constitué d'un cylindre fermé à l'une de ses extrémités. La partie supérieure est chauffée par une source de chaleur extérieure à ce cylindre alors que la partie inférieure est en contact avec une source froide (en général, l'atmosphère). Dans ce cylindre se trouve un "déplaceur", pièce métallique de volume notable et non ajustée au diamètre du cylindre. Il laisse passer, de ce fait, l'air contenu

dans le cylindre. En dessous du déplaceur, se trouve un piston coulisant dans ce cylindre et le long de la tige actionnant le mouvement du déplaceur.

Dans la phase initiale (A), le déplaceur se trouve en haut du cylindre alors que le piston est en position basse. Le volume d'air contenu dans cet espace est donc à sa pression la plus faible et à basse

température. Au cours de l'étape A→B, le piston remonte, comprimant ainsi le gaz. Au cours de l'étape B→C, le déplaceur descend. Le gaz est alors transféré vers le haut du cylindre, c'est-à-dire de la source froide vers la source chaude. La pression de l'air contenu dans le cylindre augmente alors notablement du fait de ce chauffage, ce qui a pour effet de repousser le piston ; c'est le temps moteur (étape C→D). Le déplaceur remonte alors dans le cylindre (étape D→A) et transfère de nouveau l'air contenu dans le cylindre vers la source froide. Pour obtenir la synchronisation des mouvements relatifs du déplaceur et du piston, ces deux pièces mobiles sont reliées à un vilebrequin comportant deux manetons décalés de 90°.

Plusieurs variantes du moteur Stirling existent et toutes présentent un certain nombre d'avantages :

- 1 Le gaz contenu dans le cylindre n'en sort pas. Il en résulte que ce type de moteur est beaucoup moins bruyant.
- 2 Il accepte des chauffages de tous ordres : combustibles divers, chauffages nucléaire, solaire ou géothermique.
- 3 Contrairement aux moteurs à combustion interne, ce moteur ne produit pratiquement pas d'oxyde d'azote. De plus, le contrôle

de la combustion externe est plus aisé. Pour ces deux raisons, c'est un moteur moins polluant.

4 Aujourd'hui, les moteurs Stirling peuvent atteindre des rendements légèrement supérieurs à 40% (30% pour les moteurs de nos voitures).

5 Compacité, faible nombre de composants et donc bonne fiabilité font partie également des atouts de ce type de moteur.

Développés dans les années 1930 par la société Philips qui avait besoin de générateurs silencieux et compacts pour alimenter ses montages électroniques à base de tubes, gros consommateurs d'énergie, les moteurs Stirling étaient un peu tombés dans l'oubli avec l'arrivée des transistors. Cependant, pour répondre à un certain nombre de problèmes environnementaux, on pourrait imaginer relancer le moteur Stirling et l'utiliser avec, pour source de chaleur, l'énergie solaire et la géothermie. ■

Moteur Stirling et microcogénération

Avoir un appareil qui produit du chauffage, mais aussi de l'eau chaude sanitaire et de l'électricité, est une des pistes de recherche sur laquelle travaille notamment Gaz de France. Il s'agit de la microcogénération à domicile. Et dans cette thématique, le moteur Stirling, compact, propre et discret, semble plutôt bien placé.

Le module décrit dans le texte ci-contre serait chauffé grâce au gaz naturel (ou par un autre carburant) ; serait doté d'un raccordement permettant de transmettre sur le réseau électrique le courant alternatif produit ; et comporterait un conduit d'évacuation des produits de combustion ainsi qu'une entrée/sortie d'eau chaude pour raccorder l'installation au réseau de chauffage de l'habitation. ■

Contact → Thomas Muller, thomas.muller@gazdefrance.com

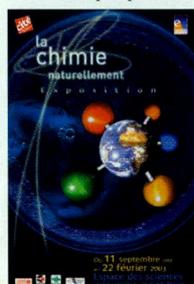
→ Texte réalisé en collaboration avec Jean-Pierre Michaut, directeur du Centre de vulgarisation de la connaissance, université Paris XI, tél. 01 69 85 33 90, jean-pierre.michaut@cvc.u-psud.fr

Exposition



La chimie au service de la confiserie

● L'exposition "La chimie naturellement", proposée par l'Espace des sciences, se poursuit au centre commercial Colombia jusqu'à la fin du mois. Dans un environnement crépusculaire, le visiteur se balade dans le monde de l'infiniment petit, à la découverte des constituants minuscules de la matière : les atomes. De panneaux richement illustrés en maquettes ludiques, les enfants ne manqueront pas de s'arrêter devant l'immense éprouvette remplie de bonbons, les adultes non plus d'ailleurs. Savent-ils seulement que ces petites douceurs sont constituées essentiellement d'eau et de sucre ? Imaginent-ils que leurs multiples couleurs et leurs diverses saveurs résultent de molécules issues de la chimie ? L'exposition nous invite à redécouvrir les objets ordinaires qui peuplent nos vies sous leur aspect moléculaire. Des bonbons aux médicaments, des cosmétiques au savon, du plastique au textile, la chimie n'est pas la science obscure pratiquée par les alchimistes d'antan qui prétendaient changer le plomb en or, mais un domaine de recherche fructueux qui améliore sans cesse notre quotidien. Rien de tel que cette exposition pour s'en convaincre.



La chimie naturellement, jusqu'au 22 février 2003 au centre commercial Colombia → Du lundi au vendredi de 12 h 30 à 18 h 30 et le samedi de 10 h à 18 h 30. Animations : tous les jours à 16 h.
→ Plein tarif : 2 € ; réduit : 1 € ; 25 € pour les groupes scolaires ; gratuit pour les enfants de moins de 12 ans accompagnés.
→ Renseignements et réservations : tél. 02 99 35 28 28.



LES MERCREDIS DE LA MER

Cycle de conférences organisé par l'Espace des sciences et l'Ifremer. Prochains rendez-vous :



● Mercredi 19 mars
Un nouveau réseau de surveillance de la faune et de la flore marines côtières : le Rebent (REseau BENThique)

Par Brigitte Guillaumont, biologiste spécialisée en géomatique, service applications opérationnelles et Dominique Hamon, benthologue, département écologie côtière/direction de l'environnement littoral, Ifremer.

→ Les conférences durent environ une heure et se terminent autour des questions du public. → 20 h 30, maison du Champ-de-Mars, 6, cours des Alliés, Rennes, entrée libre et gratuite.

Les mercredis de la mer

ILLUSTRATIONS : FLORENCE DELAGEZ/ADMIT

Courrier des lecteurs



F. Bourgault (Côtes-d'Armor)

Étant abonné à votre revue et donc curieux et avide de savoir, je voulais vous faire part de ce qui a été pour moi une découverte et qui m'a beaucoup intrigué : j'ai vu fonctionner cet été un modèle réduit d'un moteur à air chaud, lequel animait des rotors. Le principe était basé sur le phénomène que l'air chaud est moins dense que l'air froid. Il y en a un qui chasse l'autre et il se crée donc un mouvement alternatif dans un cylindre, classiquement transformé en rotatif à l'aide d'une bielle ou vilebrequin. Une petite flamme, comme celle d'un briquet suffisait à chauffer le dispositif. Une publicité de Manufrance, de 1910, avec chiffres et photo à l'appui, vantait ce système fiable et économique qui était utilisé pour actionner une pompe à eau alimentant les maisons aisées de l'époque. Ce genre de moteur serait encore utilisé de nos jours dans les sous-marins et les navettes spatiales ?

Sciences Ouest

Nous vous remercions infiniment pour cette suggestion qui nous a inspirés pour la rubrique "Comment ça marche ?" (voir page ci-contre). En espérant que vous continuiez à vous émerveiller !

Formations



Supélec

Supélec

- Du 3 au 7 mars, Rennes/Systèmes numériques : architecture et conception
 - Du 11 au 14 mars, Rennes/Systèmes temps réel et multitâches - concepts de base
 - Du 11 au 14 mars, Rennes/Compression et diffusion de données audiovisuelles
- Rens. : Catherine Pilet, tél. 02 99 84 45 00.



CNRS

- Du 10 au 14 mars, Orsay/Fondamentaux de l'optique radiophotométrie
 - Du 13 au 14 mars, Orsay/Risque chimique
 - Du 17 au 21 mars, Orsay/Biologie moléculaire "Du tissu à la séquence"
 - Du 24 au 28 mars, Orsay/Microtechnologies et microsystèmes
- Rens. : Les programmes sont disponibles sur catalogue, www.cnrs-giff.fr/cnrsformation



Archimex

- Les 12 et 13 mars, Vannes/Actifs issus de végétaux (santé, nutrition humaine, cosmétique)
 - Du 19 au 21 mars, Paris/Technologies des poudres : qualité des mélanges
- Rens. : Archimex, service formation, tél. 02 97 47 97 35, formation@archimex.com, www.archimex.com



ADRIA

- Le 11 mars, Quimper/Internet et réglementation
 - Du 11 au 13 mars, Quimper/Pratiques du laboratoire de microbiologie
 - Les 19 et 20 mars, Paris/Sélection des emballages plastique souples et rigides
 - Les 19 et 20 mars, Paris/Iso 9000 version 2000
- Rens. : Tél. 02 98 10 18 50, sebastien.lecouriaut@adria.tm.fr



AFPI

- Le guide des formations 2003 de l'afpi est disponible.
- Rens. : Joël Quintic, tél. 02 99 52 54 30, afpi-bretagne.com



UBO

- Le 20 mars, Brest/Positionnement du médecin du travail dans les entreprises : technicien, expert et/ou conseiller ?
- Rens. : Albert Mévellec, conseiller en formation au service formation continue de l'UBO, tél. 02 98 01 67 73 ou 63 32 ou 67 81, albert.mevelllec@univ-brest.fr



IRPA

- Le 20 mars, Concarneau/Le patrimoine naturel marin
- Rens. : Irpa Bretagne, www.irpa-bretagne.org

Stages



Le guide des stages

Comme chaque année, Rennes Atalante réunit dans un petit guide les propositions de stages de différents établissements : Université de Rennes 1, Université de Rennes 2, 10 écoles d'ingénieurs, groupe École supérieure de commerce de Rennes et Institut d'études politiques.

→Rens. : Rennes Atalante, tél. 02 99 12 73 73, technopole@rennes-atalante.fr, www.rennes-atalante.fr

Conférences

● 4 mars/

La vie cachée de l'huître



Lorient - Le fameux bivalve fait l'objet d'une conférence dans le cadre des mardis de la Thalassa, à 18 h 30, au CCSTI de Lorient.

→Rens. : CCSTI de Lorient, tél. 02 97 84 87 37, contact@ccstilorient.org, www.ccstilorient.org

● 4 mars/

L'eau : des enjeux géopolitiques



Paris - La Cité des sciences et de l'industrie accueille Yves Lacoste, géographe et directeur

de la revue de géographie et de géopolitique Hérodote, pour une conférence s'inscrivant dans le cycle "Gérer l'or bleu, les hommes et l'eau douce".

→Rens. : Cité des sciences et de l'industrie, www.cite-sciences.fr/college

● 11 mars/

Qu'est-ce que l'énergie ?



Paris - Roger Balian, physicien et membre de l'Académie des sciences, inaugure la série de conférences consacrée aux questions d'énergie à la Cité des sciences et de l'industrie. 18 h 30.

→Rens. : Cité des sciences et de l'industrie, www.cite-sciences.fr/college

● 11 mars/

Les principes de l'expertise



Rennes - Le cycle de conférences "Les mardis d'Ethos" proposé par l'école nationale supérieure agronomique de Rennes continue ce mois-ci avec Bernard Chevassus, président du Muséum national d'histoire naturelle.

→Rens. : <http://www.rennes.inra.fr>

FORMATION CONTINUE

UNIVERSITÉ DE RENNES 1

VIA INTERNET...
AU TRAVAIL...
OU CHEZ VOUS...

**DESS FINANCE
D'ENTREPRISE
EN LIGNE**

DIPLÔME NATIONAL
DE 3^{ème} CYCLE

SERVICE FORMATION CONTINUE
UNIVERSITÉ DE RENNES 1
4, rue Kléber - 35000 Rennes - 02 23 23 39 50
eliane.andre@univ-rennes1.fr
<http://sfc.univ-rennes1.fr>

Colloques

● 13 mars (à confirmer)/ Design industriel et électronique

Rennes - Une journée est consacrée au design industriel et électronique à Supélec Rennes. Plusieurs conférences au programme : Comment concilier design industriel et électronique dans un produit ? Ou encore : Sécurité et qualité des produits électroniques...

→Rens. : Chantal Rahuel, tél. 02 99 84 85 00, info@meito.com

● 19-20 mars/ Procédés de séparation et de transformation en industrie agroalimentaire

Rennes - Organisé par l'Inra et le CNRS, ce 8^e colloque national, ouvert aux industriels, abordera, au travers de 17 conférences, deux principaux thèmes : amélioration de la sûreté des procédés en terme d'hygiène des équipements et amélioration de la propreté et de la sobriété des procédés par une gestion globale des effluents. À la Maison de l'Agriculture.

→Rens. : Béatrice Balanec, Université de Rennes 1, tél. 02 23 23 57 62.

● 20 mars/ Les dioxines : quelles origines, quelles conséquences sanitaires ?

Brest - La CCI de Brest organise un colloque dans le cadre du Gife (Groupement des industries finistériennes pour l'environnement). Un après-midi entier est consacré aux problèmes de la dioxine. De 13 h 30 à 17 h 30, dans les locaux de l'Institut universitaire européen de la mer.

→Rens. : Véronique Hériaud, CCI de Brest, tél. 02 98 44 11 57, reunions-thematiques@cci-brest.fr

● Du 11 au 13 mai/ Journées scientifiques 2003 (chimie)

Landerneau - La section Ouest (Bretagne, Pays de la Loire) de la Société française de chimie réunit tous les deux ans une centaine de chercheurs de la région, avec la volonté de faire participer activement des jeunes en DEA ou en thèse. Cinq scientifiques de renommée internationale sont également invités pour présenter leurs travaux. La date limite d'inscription est fixée au 10 mars. Lieu : centre d'affaires et de congrès de Mescoat.

→Rens. : Françoise Conan, Françoise.Conan@univ-brest.fr

Expositions

● Jusqu'au 28 février 2003/ Histoires au fil du lait



Landerneau - Interdisciplinaire, cette exposition conçue par le Cidil*, l'Ademir** et ÉbulliScience*** retrace l'histoire du lait et des produits laitiers à travers l'histoire de l'humanité et l'évolution des découvertes scientifiques.

→Rens. : André Rosec, Agence de développement Pays de Landerneau Daoulas, tél. 02 98 85 45 85, adet@landerneau.com

● Jusqu'au 29 avril 2003/ Invitation au sommeil

Rennes - La Caisse primaire d'assurance maladie d'Ille-et-Vilaine propose une exposition sur le sommeil.



L'occasion d'insister sur la physiologie et l'importance prépondérante du sommeil dans la croissance, le maintien des défenses immunitaires et l'équilibre général. Des animations et des débats sont également au programme.

→Rens. : Espace santé de la CPAM, tél. 02 99 78 15 03, CPAM35.espacesante@wanadoo.fr

● Jusqu'au 4 mai 2003/ Mémoire de l'industrie en Bretagne

Rennes - Créée au musée de la Cohue à Vannes, cette exposition couvre, à travers le regard du photographe Yves Berrier, une histoire industrielle et technique de plus de 4 siècles et



Salons

● Du 12 au 19 mars/ Le CeBIT

Hanovre - 8 000 exposants et 700 000 visiteurs en font le premier salon mondial des Technologies de l'information et de la communication. Le Centre relais innovation Atlantic, CCI international Bretagne et la Région Bretagne s'associent pour participer au CeBIT et proposer sur place les bourses de technologie. Celles-ci permettent depuis cinq ans aux entreprises de la région de rencontrer des partenaires du monde entier.

→Rens. : CRI Atlantic, Béatrice Corblin, tél. 02 99 25 41 25.

une soixantaine de sites bretons.

→Rens. : Écomusée du Pays de Rennes - ferme de la Bintinais, tél. 02 99 51 38 15, ecomusee.rennes@agglo-rennesmetropole.fr

● Jusqu'au 1^{er} juin/ Les collections sortent de leurs réserves

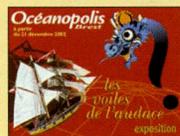
Laval - Le musée des Sciences de Laval ouvre ses réserves pour faire redécouvrir au public le large patrimoine scientifique mayennais qu'il conserve. Des collections de botanique, zoologie, géologie, minéralogie, techniques... seront, à cette occasion, exposées dans différents lieux de la ville. Au programme également : des animations scientifiques (atelier de fouille et animation taxidermie) ainsi qu'un cycle de conférences sur les enjeux de la conservation du patrimoine scientifique.

→Rens. : CCSTI de Laval - musée des Sciences, tél. 02 43 49 47 81, animation.ccsti@mairie-laval.fr

● Jusqu'au 27 juin/ Les voiles de l'audace

Brest - Présentée à Océanopolis et réalisée à l'occasion du 250^e anniversaire de l'Académie de marine de Brest, cette exposition retrace les grandes expéditions découvertes qui, au départ de Brest, ont animé l'histoire maritime mondiale dans la seconde moitié du XVIII^e siècle.

→Rens. : Océanopolis, tél. 02 98 34 40 40, www.oceanopolis.com



Appels à projets

● CIP'2003

Organisé par la Société française du vide (SFV), ce 14^e colloque international sur les procédés à plasma aura lieu à Antibes du 29 juin au 3 juillet 2003, mais les appels à communication sont à envoyer avant le 20 février prochain.

→Rens. : SFV, fax 01 42 78 63 20, sfv@vide.org, www.vide.org/cip2003.html

● Nouvelles technologies

Le Conseil régional de Bretagne, la banque commerciale pour le marché de l'entreprise du groupe CMB et France Télécom ont lancé, le 5 décembre dernier, la deuxième édition des trophées Bret@ne - Collectivités. Ce concours récompensera 9 collectivités pour leurs initiatives relatives aux nouvelles technologies. La participation est possible jusqu'au 31 mars 2003 et les prix (en dotation de matériels informatiques) seront remis en juin 2003.

→Rens. : www.trophees-bretagne-collectivites.net

● Créer son entreprise

Le ministère délégué à la Recherche et aux Nouvelles technologies et l'Anvar lancent le cinquième concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes. Deux catégories permettent aux candidats de concourir en fonction de l'avancement de leur projet. Le dépôt des dossiers doit se faire auprès de la délégation régionale de l'Anvar avant le 6 mars 2003.

→Rens. : Délégation régionale de l'Anvar, tél. 02 99 38 45 45, www.anvar.fr



● Du 12 au 22 mars/ Mois de l'enseignement supérieur

Brest - La communauté urbaine de Brest organise pour la première fois le mois de l'enseignement supérieur avec l'UBO et les grandes écoles de la ville qui mettent en place des portes ouvertes. Esab (École supérieure d'arts de Brest) : 12 mars ; Ensieta (École nationale supérieure des études techniques de l'armement) : 13 mars ; Iseb (Institut supérieur d'électronique de Brest) : 15 mars ; UBO : 15 mars ; ENST (École nationale supérieure des télécommunications Bretagne) : 19 mars ; ESC (École supérieure de commerce Brest) : 22 mars ; Esmisab (École supérieure de microbiologie et de sécurité alimentaire de Brest) : 22 mars ; Enib (École nationale d'ingénieurs de Brest) : 22 mars. Le but étant de présenter les différentes filières, options et les débouchés possibles au niveau études supérieures sur Brest.

→Rens. : Françoise Jagaille, tél. 02 98 33 53 53.

SCIENCES

Ouest

RESEARCH AND INNOVATION IN BRITTANY

ABSTRACTS FOR THE INTERNATIONAL ISSUE

SPOTLIGHT ON LABORATORIES P.6

**WE HAVE TO COMMUNICATE:
"I AM DETERMINED TO PASS
ON THE MESSAGE THAT PHYSICS
IS ALL AROUND US."**

Communication is essential, as the Director of the Condensed Matter and Materials Group laboratory within the CNRS in Rennes would be the first to admit. Anne Renault has gone so far as to set up a Communications team within her laboratory, evidence of her experience in this area. In the current climate, where decentralisation is the order of the day, local and regional agencies are obtaining increasing power in a wide range of sectors, especially funding. If research is to benefit from available finance, scientists must learn better communication skills in order to publicise the results of their work, especially among local and regional councillors so Anne Renault has opened her doors to them. Her will to communicate is also obvious in her laboratory's organisation of the first Physics & Biology conference in Western France, held last July. To increase contact with the general public, her laboratory was involved in "Sciences en Fête", an annual science festival. It has also prepared a new website and it offers tours of

its premises. Modern scientists can no longer afford to remain focussed solely on research; they have to prove that they are capable of sharing their thoughts and considerations with others. ■

SPOTLIGHT ON THE NEWS P.7

**GÉNOPOLE OUEST
GENOMICS IN IN THE STUDY
OF PIG VIRUSES**

**AFSSA IS TAKING ADVANTAGE OF
THE GÉNOPOLE OUEST NETWORK**
A genome programme has been launched at the *Agence française de sécurité sanitaire des aliments* (AFSSA, French food safety agency) in Ploufragan under the aegis of *Géno pole Ouest*. The programme, which is being implemented within the viral genetics and biosafety unit directed by André Jestin, aims to define the interactions between a given virus and the pig cell that it infects. In the long term, the aim is to assess the potential risk for the transmission of infection to Man, in particular given the perspective of xenotransplants or the use of pig blood factors. The methods used in genomics may supply a large amount of information thanks to DNA chips and this will be used to provide more effective analysis of all sorts of

viruses. The first results already seem to be "promising", according to Yannick Blanchard, Head of the Genome programme at Afssa in Ploufragan. ■

SPOTLIGHT ON THE NEWS P.8

**CULINARY CHRONICLES
HARD-BOILED EGGS GO
FOR A SPIN**

How can you distinguish between a hard-boiled egg and a fresh egg? There are those who claim that hard-boiled eggs can roll and fresh eggs can't. However, experiments prove the opposite. The best method is to spin the egg then place your finger on the top momentarily and let it go again. If the egg has been boiled, it will stop spinning; if it is fresh, it will continue turning. There's a simple explanation for this. Although the fresh egg has been momentarily halted, the liquid inside continues to move because of its inertia and the low level of contact with the shell. When you take your finger away, the contents again cause the egg to rotate. Of course, if you're in too much of a hurry to do this experiment, you can always try dropping the eggs and observing the results! ■

AN IN-DEPTH LOOK AT MICROTECHNOLOGY AND NANOTECHNOLOGY THE RACE FOR MINIATURISATION

P.9/17 The effects of miniaturisation can be seen every day but do we really realise that an infinitely small world is developing near us? Since the invention of the microchip in 1971, technological changes have continually decreased the size of electronic components. The origin of this trend lay in microscopy. From old instruments capable of tracing "animalcules" to the impressive pieces of equipment that detect atoms, this science underwent considerable progress during the last century.

This month, then, the Sciences Ouest "In-Depth Look" deals with the world of microtechnology and nanotechnology, which is developing in Brittany. Few sectors remain unaffected. The "chip effect" is continuing to advance the field of optoelectronics, in particular through progress

in microlithography at IETR (*Institut d'électronique et de télécommunications de Rennes*). Scientists at INSA (*Institut national des sciences appliquées*) overlay microcomponents with materials whose composition is controlled at the scale of the atom. Food-processing, cosmetics and pharmacology all take advantage of the microencapsulation of active substances developed by Polaris, a company in Quimper. New coatings are being developed thanks to work on polymers at UBS (*Université de Bretagne sud*) in Lorient. The *Institut de chimie* in Rennes uses robots that work to within one micron to achieve high-rate chemical reactions. Microsensors installed on marine animals enable Ipev (*Institut Paul-Émile Victor*) in Brest to study them more easily. Welcome to an

"infraworld" which, without any doubt, promises a bright future for all kinds of new technology. ■

These abstracts in English are sent to foreign universities that have links with Brittany and to the Scientific Advisers in French Embassies, in an effort to widen the availability of scientific and technical information and promote the research carried out in Brittany.

If you would like to receive these abstracts on a regular basis, with a copy of the corresponding issue of *Sciences Ouest*, please contact Nathalie Blanc, Editor, fax +33 2 99 35 28 21, E-mail: nathalie.blanc@espace-sciences.org



Brittany Regional Council is providing financial backing for this service.

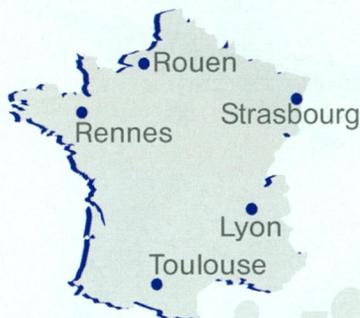


Ecole d'Ingénieurs

Etablissement Public à caractère Scientifique, Culturel et Professionnel,
sous tutelle du Ministère de l'Éducation Nationale.

forme à Rennes des ingénieurs dans les spécialités :

Electronique et Systèmes de Communications
Génie Civil et Urbanisme
Electronique et Informatique Industrielle
Génie Mécanique et Automatique
Matériaux et Nano-Technologies
Informatique



Un réseau de 5 écoles
à découvrir sur
www.insa-france.fr

à la suite d'un premier cycle de deux années (recrutement après le bac sur dossier). Possibilité de recrutement à bac + 2 (DEUG, DUT, BTS, CPGE) et à bac + 4 (maîtrise) avec intégration en 1ère année et 2ème année de spécialité après sélection sur dossier.

RENSEIGNEMENTS :

Tél. 02 23 23 83 58 - accueil.orientation@insa-rennes.fr
Les dossiers sont à déposer pour le 15 avril 2003.

Institut National des Sciences Appliquées

20, avenue des Buttes de Coësmes - CS 14315 - 35043 RENNES CEDEX
Tél : 02 23 23 82 00 - Fax : 02 23 23 83 96 - Web : www.insa-rennes.fr

L'info scientifique et technique du grand Ouest



Abonnez-vous et recevez chaque mois
Sciences Ouest + Découvrir

Tarif normal

2 ANS 54 € (au lieu de 66 €*) soit 4 numéros gratuits
1 AN 30 € (au lieu de 33 €*) soit 1 numéro gratuit

Tarif étudiant (joindre un justificatif)

2 ANS 27 € (au lieu de 66 €*) soit 13 numéros gratuits
1 AN 15 € (au lieu de 33 €*) soit 6 numéros gratuits

Tarif étranger ou abonnement de soutien

2 ANS 76 € 1 AN 50 €

Je souhaite un abonnement de

- 1 AN (11 N^{os} Sciences Ouest + 11 N^{os} Découvrir)
 2 ANS (22 N^{os} Sciences Ouest + 22 N^{os} Découvrir)

- Tarif normal Tarif étudiant (joindre un justificatif)
 Tarif étranger ou abonnement de soutien

Nom _____ Prénom _____

Organisme/Société _____

Secteur d'activité _____

Adresse _____

Code postal _____ Ville _____

Tél. _____ Fax _____

Je désire recevoir une facture

Bulletin d'abonnement et chèque à l'ordre de l'Espace des sciences, à retourner
à : Espace des sciences, 6, place des Colombes, 35000 Rennes.

* prix de vente au numéro

50 196



Calvi Casablanca Cayenne Clermont-Ferrand Copenhague Deauville Dublin Düsseldorf Edimbourg Florence Fort-de-France
 Nuremberg Oslo Papeete Paris Charles-de-Gaulle Paris Orly Pau Perpignan Pointe-à-Pitre Porto Prague Rome
 Ajaccio Amsterdam Angoulême Athènes Avignon Barcelone Bastia Berlin Biarritz Bilbao Birmingham Bologne Bordeaux Bruxelles Budapest
 Lyon Madrid Malaga Manchester Marseille Metz Milan Montpellier Moscou Mulhouse Munich Naples Newcastle New-York Nice
 Francfort Genève Gothenburg Grenoble Hambourg Hanovre Istanbul Le Havre Lille Limoges Lisbonne Londres Los Angeles Luxembourg
 St-Denis St-Petersbourg Séville Shannon Stockholm Strasbourg Stuttgart Toulon Toulouse Tunis Turin Varsovie Venise Vienne Zurich

70 destinations

parce que nous allons là où vous allez



L'Aéroport de Rennes est la porte ouverte idéale pour la France et l'Europe. Une porte qui vous donne un accès simple ou direct à de nombreuses destinations. Avec des horaires adaptés, des vols directs et des correspondances rapides, vous y gagnez en temps, vous y gagnez en commodité.

www.rennes.aeroport.fr
 Les horaires en temps réel
 3615 RENNAIR (0,2€ TTC/mn)



AÉROPORT DE RENNES
 Chambre de Commerce et d'Industrie de Rennes

Contact Aéroport : 02 99 29 60 00

