



Une salle blanche de l'Institut Léti à Grenoble où sont fabriqués des nanosystèmes

Les métiers des nanos

PAR MARION CHAMPION

À la rencontre d'hommes et de femmes du CEA qui travaillent à l'échelle du nanomètre.

À savoir

Un nano-objet est un objet dont l'une des dimensions est comprise entre 1 et 100 nanomètres.
1 nm = 10^{-9} m

Dans une salle blanche de l'Institut Léti, Carine Marcoux élabore des nanosystèmes capables de détecter une seule molécule parmi un milliard. Elle est l'une des 1900 chercheurs, techniciens, ingénieurs du CEA qui travaillent à l'échelle du nanomètre, c'est-à-dire

au milliardième de mètre. À cette taille, la matière présente de nouveaux phénomènes physiques et de nouvelles propriétés. Ainsi, par exemple, si dans la nature les atomes de carbone s'organisent spontanément en diamant ou en graphite, des chercheurs ont découvert et fabriqué une nouvelle forme de matériau carboné : les nanotubes de carbone. Leur rigidité est en principe cent fois plus élevée que celle de l'acier ! Pour reproduire ces propriétés et les rendre disponibles pour les nouvelles technologies et la société, des chercheurs fabriquent, étudient et manipulent **▶▶▶**

▀▀ divers nano-objets. Ils sont physiciens, chimistes, biologistes, électroniciens... Les frontières entre les disciplines s'estompent et les métiers se côtoient dans une convergence d'échelle : le nanomètre. En 2006, le CEA a créé le programme transversal Nanosciences qui implique toutes les directions opérationnelles, principalement sur les centres de Saclay, Grenoble, Marcoule et du Ripault. Il permet d'alimenter la recherche nano en amont et de faire le lien avec la recherche technologique. Car, au CEA, les recherches s'étendent des nanosciences fondamentales aux nanotechnologies au service de la santé, de l'énergie et des technologies de l'information.

Les nanos entrent dans notre quotidien : produits issus de la micro- ou nanoélectronique, nouvelles générations de matériaux, nouvelles thérapies... Les produits dotés de caractéristiques nanos se

multiplient sur le marché : Plus de 200 produits sont déjà commercialisés. Une augmentation récente et forte qui soulève bon nombre de questions au sein de la société. Des questions d'ordre éthique, mais aussi toxicologique, dans la mesure où l'on sait encore peu de chose sur les risques que pourraient engendrer ou non les nanoparticules manufacturées sur la santé. Il relève de notre responsabilité de mener des recherches sur la toxicité. C'est pourquoi le CEA contribue aux grands programmes européens sur le sujet, et a lui-même mis en place plusieurs projets de recherche. Il s'agit d'étudier le risque d'exposition pour le travailleur et la toxicité intrinsèque des nanoparticules. Et qu'en est-il justement du salarié qui travaille au contact des nanos ? Le principe de précaution est appliqué pour une protection maximale avec gants en nitrile, blouses, lunettes de sécurité, travail sous hotte ou en boîte à gants. ■

De l'Angleterre à la France, de Kodak au CEA... Olivier Poncelet, chimiste, est à Grenoble pour travailler au Laboratoire de chimie et de sécurité des nanomatériaux de l'Institut Liten, dédié à l'énergie. Durant dix-sept ans, chez l'industriel Eastman Kodak, il officiait en science des matériaux. à Grenoble, il met au point des nanofluides. Les nanofluides permettent de mieux dissiper l'énergie. Dans une voiture, le radiateur contenant de l'eau glycolée refroidit le moteur. Avec un nanofluide, la chaleur se dissipe plus vite ! Tous les systèmes qui ont besoin d'être refroidis, comme les ordinateurs ou les satellites, pourront bénéficier de ces nanofluides.

Tout commence à la pailleuse, par le mélange et l'hydrolyse contrôlée de sels minéraux. Olivier Poncelet formule ses nanofluides, les modifie et les caractérise. « Au laboratoire, nous avons d'autres activités, et j'apporte par exemple mes connaissances en synthèse des nanomatériaux à mes collègues qui travaillent sur des luminophores de taille nanométrique. Ils cherchent à associer différentes particules fluorescentes pour obtenir un matériau luminescent de couleur blanche. Leur objectif est de fabriquer des vitres pour bâtiments publics ou maisons



POUR L'INDUSTRIE

“ Synthétiser des nanofluides pour mieux dissiper l'énergie ”

OLIVIER PONCELET (à droite) et Daniel Getto observent un nanofluide à base d'oxyde de silice

Olivier Poncelet, chimiste

Bac S – parcours universitaire jusqu'à la licence physique-chimie et maîtrise de Chimie, Université de Nice Sophia-Antipolis – DEA Energétique et chimie – Thèse en chimie organométallique, Université de Nice Sophia-Antipolis

individuelles, parfaitement transparentes durant la journée, mais lumineuses à la nuit tombée. Les nanomatériaux utilisés réagiront

aux diodes d'ultraviolets installées sur les pourtours de la vitre pour fournir de la lumière. »

A Saclay, une physicienne associe l'échelle nanométrique et la spintronique, mélange d'électronique et de magnétisme, pour élaborer des capteurs dédiés à l'imagerie du cerveau. Myriam Pannetier-Lecoeur travaille à l'Institut rayonnement matière de Saclay (Iramis). « Nos capteurs sont destinés à équiper des dispositifs de magnéto-encéphalographie, une technique d'imagerie qui enregistre les signaux magnétiques du cerveau en temps réel. Le patient se place sous un casque équipé de 300 capteurs qui détectent l'activité des zones du cerveau au cours d'une action, par exemple le langage. » Une technologie qui donne accès au fonctionnement du cerveau comme à ses dysfonctionnements : dans le cas de maladies neurodégénératives, de la schizophrénie ou encore de l'épilepsie. La spécificité de ces capteurs ? Ils sont refroidis à l'azote liquide au lieu d'utiliser de l'hélium, ce qui diminue le coût de fonctionnement du dispositif. « Au laboratoire, nous les fabriquons en partant d'un matériau composé d'un empilement de couches métalliques magnétiques et non magnétiques, d'une quarantaine de nanomètres d'épaisseur. Cet empilement engendre un phénomène, appelé la magnétorésistance géante, qui permet de détecter des petits champs magnétiques. Sur ce matériau, nous ajoutons une boucle supraconductrice, pour amplifier le signal, avec des méthodes de microfabrication comme la lithographie. Au final, cet ensemble donne accès à des signaux extrêmement faibles, comme ceux émanant du cerveau. » Une fois les capteurs mis au point, Myriam Pannetier-Lecoeur évalue leurs performances, leur sensibilité, leur seuil de détection et les teste en conditions réelles dans une chambre blindée de



POUR LES SCIENCES DE LA VIE

“ Des capteurs pour enregistrer les signaux magnétiques du cerveau ”

MYRIAM PANNETIER-LECOEUR introduit un capteur dans un bâti ultravide pour un dépôt de couches minces

NeuroSpin, le centre de neuro-imagerie cérébrale du CEA. Réalisés dans le cadre d'une collaboration avec la société Elekta, qui construit des dispositifs de magnétoencéphalographie, ces capteurs devraient être adaptés à une

nouvelle génération de machines. « Pour le moment, nous augmentons encore leurs performances et leur sensibilité, mais d'ici deux ou trois ans, ils devraient atteindre les niveaux requis pour une commercialisation. »

Myriam Pannetier-Lecoeur, physicienne

Bac S – parcours universitaire jusqu'à la maîtrise de Physique, Université Rennes I – DEA Physique de la Matière et du Rayonnement, Université de Caen Doctorat Milieux denses et Matériaux, Université de Caen – Post-doctorat à Amsterdam (Pays-Bas)

Les recherches sur les nanos au CEA

Elles sont menées sous le pilotage du programme transversal Nanosciences.

• La santé

Les applications s'étendent de la vectorisation de médicaments aux marqueurs biologiques, en passant par le diagnostic précoce, des thérapies moins invasives ou encore l'amélioration de la médecine régénératrice.

• L'énergie

Le CEA s'intéresse aux nanos pour l'énergie nucléaire, et notamment aux nanomatériaux pour la quatrième génération de réacteurs et les combustibles.

Des recherches sont également menées sur les piles à combustible, le solaire photovoltaïque, le stockage de l'énergie, la thermoélectricité, associées à des compétences spécifiques en matériaux, ainsi que sur des systèmes bioénergétiques.

• Les technologies de l'information

Des équipes travaillent sur les technologies du futur à l'échelle nano : les télécommunications, l'automobile, le multimédia grand public...

Les nanos ont-elles un effet toxique sur l'homme ou sur l'environnement ? Voilà l'objet des recherches de Marie Carrière, biologiste à l'Institut rayonnement matière de Saclay. « Au Service interdisciplinaire des systèmes moléculaires et matériaux, nous nous intéressons à l'effet de deux types de nanoparticules : l'oxyde de titane, que l'on trouve dans certaines crèmes solaires ou peintures, et les nanotubes de carbone, présents par exemple dans les carrosseries des voitures ou dans le matériel de sport haut de gamme. » Pour étudier leurs effets sur l'homme, Marie Carrière travaille sur des cellules pulmonaires, rénales ou hépatiques. « Le poumon sera directement exposé si le travailleur inhale

de l'air contenant des nanoparticules. Nous partons de l'hypothèse que les nanoparticules réussissent à passer les barrières physiologiques, pour atteindre la circulation sanguine et être distribuées dans le foie et le rein, où elles pourront se loger avant d'être éliminées. » Pour la toxicité sur l'environnement, différentes souches bactériennes et plusieurs types de plantes sont étudiés. Que ce soit pour les cellules humaines, les plantes ou les bactéries, le procédé d'étude est presque identique : « Nous exposons les cultures cellulaires ou bactériennes à des concentrations variables pour des durées variables, dans des solutions contenant des nanoparticules à différentes concentrations. » Marie Carrière observe si les sujets se développent normalement et cherche à comprendre pourquoi certains meurent et d'autres non. « Notre objectif est de décrypter les mécanismes d'action des nanoparticules et de relier les effets à leurs caractéristiques physicochimiques. Pour la



POUR ÉVALUER LA TOXICITÉ

“ Décrypter les mécanismes d'action des nanoparticules ”

MARIE CARRIÈRE expose des plantes à des nanoparticules

Marie Carrière, biologiste

Bac S – classes préparatoires « bio-math sup » – école d'ingénieur, AgroParisTech Paris-Grignon – spécialisation ouvrant droit à un DEA en chimie analytique – thèse en biologie cellulaire et physico-chimie – post-doctorat en toxicologie

toxicité humaine par exemple, nous avons démontré que ce sont les nanoparticules d'oxydes les plus petites, de taille inférieure à 25 nanomètres, qui sont les plus

toxiques. Leur forme est aussi déterminante : il s'avère que les nanoparticules sphériques sont plus toxiques que celles en forme de bâtonnet. »

Des locaux d'un blanc immaculé dans lesquels circulent des hommes en combinaison intégrale, munis de surbottes, de gants, de masques... Bienvenue au cœur d'une salle blanche, un endroit ultrapropre où la moindre trace de poussière est bannie. C'est ici que Carine Marcoux, ingénieur en microélectronique, met au point des systèmes de taille nanométrique, les Nems (Nanoelectromechanical systems). Au sein du Laboratoire composants microsystemes de l'Institut Léti, elle est chargée de suivre les différentes étapes technologiques nécessaires à leur réalisation. « Un Nems peut récupérer une information physique dans l'environnement, comme le poids d'une molécule présente dans un gaz, et

la transformer en signal électrique mesurable. » À l'échelle nanométrique, cela permet d'envisager plusieurs utilisations, comme celle d'une nanobalance pour analyser une quantité infime de biomarqueurs qui permettent de poser le diagnostic d'une maladie. « Dans la réalisation du Nems, je m'occupe de l'intégration technologique : c'est-à-dire de définir la succession des étapes de fabrication. Je m'assure de la compatibilité des matériaux et des procédés utilisés. Je rédige un "carnet de lot" qui précise les opérations nécessaires à l'élaboration du Nems. » Dépôt, lithographie, gravure... En salle blanche, chaque étape a sa zone réservée et Carine Marcoux se déplace de l'une à l'autre pour suivre l'évolution de son composant. « C'est comme un jeu de Légo ! Pour fabriquer un Nems, nous déposons de fines couches de matériau, que nous façonnons par lithographie et gravure. » Cette technologie s'inspire de celle des microsystemes (ou Mems),



POUR LA TECHNOLOGIE

“ Nous avons bénéficié des techniques de pointe de la microélectronique ”

CARINE MARCOUX prépare une observation au microscope électronique à balayage

Carine Marcoux, ingénieur en microélectronique

Bac S – maîtrise Sciences et Techniques Electronique, Université de Besançon – DEA Microélectronique, Université Paris XI – Thèse Microélectronique

dont l'utilisation la plus répandue est le capteur de pression pour les airbags de voiture. La principale différence entre un Mems et un Nems réside dans leur sensibilité. Avec un Nems, il est désormais possible de détecter quelques molécules sur un milliard ! « Cela fait de nombreuses années que

l'Institut Léti a commencé à travailler sur les Nems. Nous avons pu bénéficier des outils de pointe de la microélectronique. Aujourd'hui nous avons sorti les premiers prototypes sur lesquels nous commençons à avoir des retours, qui nous permettent d'optimiser nos nanosystèmes. »