



Compte-rendu de la conférence du 19 novembre 2009 Sur les Nanotechnologies

Soirée organisée par : les **Ingénieurs INSA** en étroite collaboration avec le « **Pavillon des Sciences** » (la conférence faisant partie des **Bars des Sciences programmés**), l'**URIS de Franche-Comté**, le **Conseil Général du Territoire de Belfort**, la **Chambre de Commerce et de l'Industrie du Territoire de Belfort**.

Lieu - Horaire : « CCI du Territoire de Belfort - 1, rue du Docteur Fréry – Belfort » – de 20h30 à 22h30

Participation : très bonne, environ 200 personnes étaient présentes, dont de nombreux représentants URIS FC et INSA..

Intervenants :

- **Eric LESNIEWSKA** , professeur à l'Université de Bourgogne, responsable du master de Nanotechnologie et de Nanosciences et chercheur au CNRS,
- **Wilfrid BOIREAU**, biologiste à l'Université de Franche-Comté et à l'Institut FEMTO ST et Chercheur au CNRS. Il travaille également aux mises au point de techniques de lutte contre le cancer au Cancéropôle Grand Est.

Contexte de cette soirée : Ces nanotechnologies qui nous concernent déjà, sont encore mal connues du grand public, alors qu'elles font pourtant l'objet de nombreuses applications quotidiennes. Pour nous éclairer, nous avons fait appel aux deux spécialistes en la matière **Eric LESNIEWSKA**, **Wilfrid BOIREAU** (des chercheurs faisant partie du réseau de connaissance de notre ami Pascal REMOND, du Pavillon des Sciences). Ils ont donc développé devant nous les aspects de ces sciences et techniques dans leurs applications aux domaines de l'inerte et du vivant, après quoi ils ont répondu aux questions que la nombreuse assistance leur a posées.

La soirée débute par l'introduction et les remerciements de la CCI (Mr ARBEZ) et de Jean-Pierre BULLIARD à l'ensemble des organisateurs cités plus haut, sans oublier les **Ingénieurs INSA Claude BOLARD et Jean RESTLE** qui ont passé un temps de préparation très important pendant toute cette année 2009. Puis on passe la parole aux conférenciers, les exposés étant entrecoupés de questions-réponses avec les participants, **Pascal REMOND** animant toute cette soirée avec le dynamisme qu'on lui connaît. Nous indiquons ci-après l'essentiel développé sur les nanotechnologies.

L'échelle des nanotechnologies : Le monde vivant a l'échelle suivante :

- Atome et molécule : entre 0,1 nm et 1 nm (1nm = 1 nanomètre = 10^{-9} m, un milliardième de mètre, ou encore un millième de micron !)
- Protéine = 10 nm
- ADN = 100 nm

Les nanotechnologies couvrent donc ces 3 entités, de 0,1 nm à 100 nm. Un nanomètre, c'est environ 500.000 fois plus fin que l'épaisseur d'un trait de stylo à bille, 30.000 fois plus fin que l'épaisseur d'un cheveu, 100 fois plus petit qu'une molécule d'ADN, ou correspondant à la largeur de 4 atomes de silicium mis l'un à côté de l'autre.

Par comparaison, au-delà de ces distances, nous trouvons :

- La cellule (1 micron)
- Un cheveu humain : 10 à 100 microns

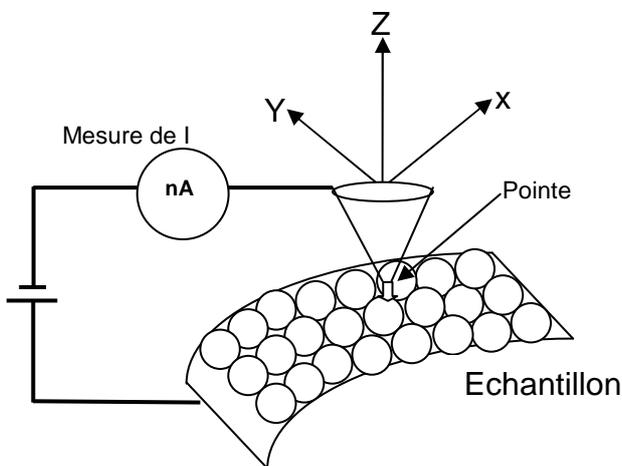
- Une puce : 1 mm
- Un papillon : 1 cm à 10 cm
- L'être humain : de 1 à 2 m
-

Comment fabrique-t-on des nanocomposants ?

- En adoptant une voie descendante (en anglais : « top-down ») : on part d'un matériau, on le découpe et on le sculpte pour réduire le plus possible les dimensions de l'objet ou du composant que l'on veut fabriquer. C'est la voie qu'a suivie l'électronique depuis 30 ans, provoquant une révolution technologique dont l'ordinateur est le résultat le plus remarquable. L'effort de miniaturisation a d'abord conduit à des composants de dimensions micrométriques et a maintenant atteint les 100 nm. Hier, l'ère des microtechnologies nous a fait connaître le composant « transistor » puis le circuit intégré. Cela a débouché vers des applications comme l'accéléromètre, capteur utilisé dans les automobiles pour déclencher le gonflage des airbags. Les microsystème ont aussi de nombreuses applications en optique (optique adaptative pour corriger l'image des étoiles parvenant dans les télescopes, miroir déformable, examens de l'œil) en microfluidique (imprimante à jet d'encre dans le domaine informatique, distributeur d'insuline dans le domaine médical, ainsi que la biopuce à ADN et le laboratoire sur puce).
- En adoptant une voie ascendante (en anglais : « bottom-up ») : on assemble la matière atome par atome pour construire des molécules que l'on intègre ensuite dans des systèmes plus grands. Cette voie est similaire à celle suivie par la nature : à partir des molécules d'ammoniac, de dioxyde de carbone, d'eau et de sels minéraux, elle a formé durant 4 milliards d'années d'évolution le monde du vivant si riche et si complexe d'aujourd'hui.

1^{er} Outil des nanotechnologies : le Microscope à Effet Tunnel

Ce fut le premier instrument mis au point pour examiner le nanomonde. Il a été inventé par Gerd BINNING et Heinrich ROHRER (du laboratoire suisse d'IBM à Zürich). Cette invention leur a valu le prix Nobel de physique en 1986. Il comporte une pointe métallique extrêmement fine qui survole la surface du matériau examiné (échantillon) à quelques nanomètres de distance. En même temps, on applique entre la pointe et la surface une tension électrique, ce qui crée un courant d'électrons appelé « courant tunnel ». Après avoir balayé toute la surface du matériau et enregistré les variations de ce courant, on reconstitue par ordinateur le relief de la surface survolée avec une précision de l'ordre de l'atome, c'est-à-dire, 0,1 nm.



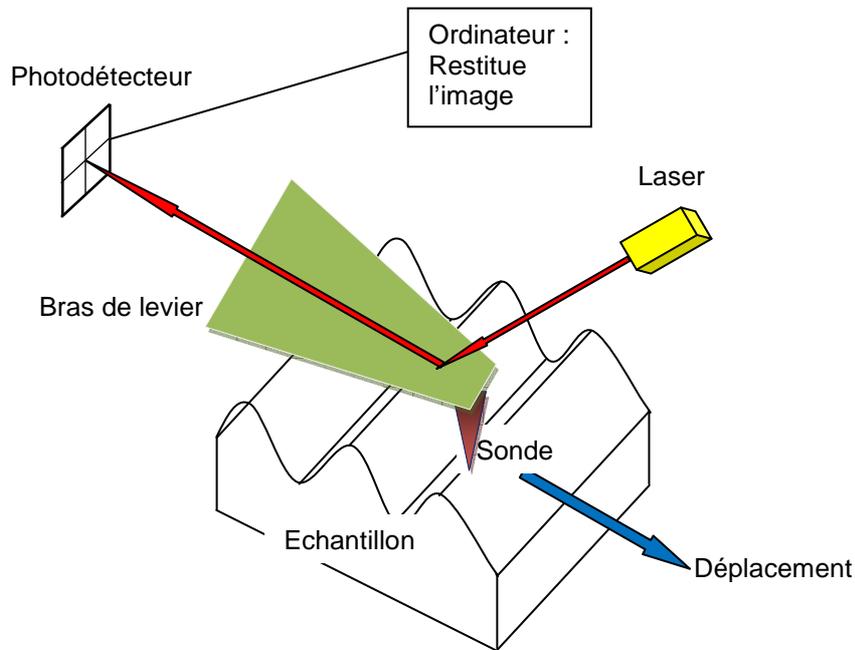
Cet instrument révolutionnaire, initialement conçu pour observer la surface des matériaux, est maintenant aussi utilisé pour déplacer des atomes un par un, comme une « pince à atomes ». A l'aide de la pointe, on peut attraper un atome, le déplacer sur la surface et le déposer à l'endroit voulu. On est ainsi parvenu à disposer des atomes de fer en cercle sur une surface de cuivre, prouesse technologique remarquable. L'image du « corral quantique » obtenue grâce au microscope à effet tunnel, montre que les électrons se comportent comme des ondes : ils forment un nuage concentrique qui ondule comme la surface de l'eau dans laquelle on a jeté un caillou. C'est une des plus remarquables visualisations directes des lois de la mécanique quantique.

Avec ce microscope, on peut donc se rendre compte des terrasses d'une surface d'argent ou des terrasses d'or formées par l'empilement des atomes correspondants. La pointe de ce microscope est un fil de platine-iridium coupé au ciseau courbe, elle permet aussi d'arracher de la matière et de placer un atome au bout de cette pointe. La pointe ne touche pas la surface observée : chaque fois que l'on approche la pointe d'une distance de 1 angström (soit 10^{-10} m, soit encore : 0,1 nm), on multiplie le courant par dix, cet instrument est donc très précis. On travaille donc avec des courants de l'ordre du picoampère (10^{-12} ampère). On ne travaille plus sous vide mais dans l'air, en solutions, avec des boîtes à gants, avec de

basses températures (-4 Kelvin soit -269° Celsius). Le coût d'un tel microscope est de 150000 à 600000 Euros. Sa mise en œuvre, dans les années 1980 a été possible grâce aux progrès énormes fait par l'électronique : on a su extraire du bruit des signaux de courant de l'ordre du pico-Ampère (10^{-12} A).

2^{ème} Outil des nanotechnologies : le Microscope à Force Atomique

Alors que le Microscope à Effet Tunnel permet d'observer la surface des matériaux conducteurs, le Microscope à Force atomique permet d'observer la surface des matériaux isolants tels que les polymères, les céramiques et les matériaux biologiques. Sa pointe, fixée sur un bras de levier flexible, balaye et frotte la surface du matériau à observer en suivant le relief. La déformation du levier, qui est éclairé avec un laser, est mesurée par un photo-détecteur et enregistrée à l'ordinateur. Cet instrument est très utilisé dans les industries où le contrôle fin de l'état de surface est primordial, comme par exemple celles de la microélectronique.



On mesure ainsi des forces très faibles avec une diode laser (photodiode) dont la sensibilité est de 1/100 d'Angström (10^{-12} Newton). On utilise pour cela la souplesse du bras de levier (celui-ci a une sensibilité de 10 millinewton par mètre). On détecte ainsi des piconewtons. La distance entre la pointe de la sonde et l'échantillon est de l'ordre de la distance entre deux atomes.

Applications des nanotechnologies :

- Ciment et plâtre : On s'est rendu compte que des nanoparticules d'urée introduites retardaient la prise du plâtre, du ciment.
- Effet « lotus » : les feuilles de lotus ont la propriété de s'autonettoyer grâce aux gouttelettes de pluie, cette propriété est exploitée par General Motors en chargeant le pare-brise de nanomolécules permettant que les gouttes d'eau ne s'étalent pas. Ils visent ainsi la suppression des essuie-glaces.
- Applications en physico-chimie : on a créé des nano-arches permettant une liaison entre atomes et des nano-tubes de carbone, structure artificielle créée par Sumio Iijima (laboratoires NEC au Japon). Ces nano-tubes forment une structure à la fois solide, légère et souple. Leurs propriétés mécaniques et électriques surprenantes permettent des applications nombreuses (remplacement des fibres de carbone des raquettes de tennis, fabrication de nano-fils électriques très fins, poudres de nanotubes en vrac ayant une très grande surface de contact avec l'air et permettant d'améliorer la catalyse chimique, le stockage des gaz, le filtrage des polluants...).
- Création de véritables « légo » moléculaires permettant une autoorganisation de molécules à la surface du silicium,
- Application en microélectronique : le transistor protéique (microtubule) va permettre de nouvelles performances dans la miniaturisation, le développement de nouvelles mémoires informatiques plus performantes...
- Applications en médecine, en biologie : des lignes d'anticorps vont pouvoir être quadrillées en grille,
- Applications en énergétique : des piles solaires sont réalisées à partir des feuilles d'épinards, en utilisant les effets de la photosynthèse,

- Applications dans le textile : reconstitution de la soie d'araignée par élaboration de longs fils de protéines formant un cocon beaucoup plus résistant que le naturel,
- Le défi des nanotechnologies est de comprendre le fonctionnement d'une cellule sans nuire à sa fiabilité, cette étude de cellules uniques doit permettre d'isoler les tumeurs cancéreuses, de les détruire sans nuire à leur environnement (sans toucher aux cellules saines),
- Les observations 3-D de la surface de la parois cellulaire de cellules de feuille de vigne ont permis de voir que la membrane se raidit après insolation de rayons Ultra-Violet, elle devient plus cassante
- Applications en santé : mesure des températures localement dans les neurones pour combattre Alzheimer, reconstitution des cellules osseuses pour vaincre l'ostéoporose, capture de cellules cancéreuses circulantes, nanoparticules pour l'imagerie moléculaire et la thérapie, nanoparticules pour la vaccination nasale, ablations laser sur les cellules de l'œil,
- Applications dans les cosmétiques (ce sont, à l'heure actuelle, les plus grands consommateurs de nanoparticules)
- Avion en plastique : on réintroduit dans la structure des nanoparticules de métal pour conserver l'effet de cage de faraday en cas de foudre.
- Blindage des gilets pare-balles,
- Nanotubes de carbone dans les pneus pour améliorer leur dureté,
- Amélioration des catalyseurs chimiques (1g de nanoparticule correspond à une surface de 100 m²)
- Etc.

Risques liés aux nanoparticules :

- **Risques pour la santé** : le lait en poudre, le chocolat actuellement contiennent des nanoparticules pour améliorer leur solubilité dans l'eau. Ces données n'apparaissent pas en tant que telles et la législation n'oblige pas pour l'instant de lister les nanoparticules insérées dans les produits de consommation. Aucun produit contenant des nanoparticules n'a fait l'objet d'essais en tant qu'additif ou auxiliaire technologique. Un rapport de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments a été rédigé en mars 2009 (titre : nanoparticules dans l'alimentation humaine et animale), il fait état du vide juridique actuel concernant ces nanoparticules. Par exemple, le dioxyde de silice est autorisé comme additif alimentaire (E551) mais des silices de taille nanométrique sont utilisées depuis longtemps dans l'alimentation pour leurs propriétés rhéologiques sous le même numéro d'additif. Le dioxyde de titane est aussi autorisé comme additif alimentaire (E171).
- **Quelques exemples de préoccupations** :
 - o Le lycopène (E160d) est développé pour ses propriétés anti-oxydantes (c'est un extrait de tomate mais obtenu par synthèse chimique par la société BASF),
 - o L'hydrosol d'argent est formé de particules d'argent de 0,8 nanomètre avec absence de données de biodisponibilités,
 - o Le thé vert est présenté comme riche en sélénium et fabriqué selon un procédé breveté, qui permettrait une formation de poudre de thé de granulométrie inférieure à 100 nanomètres,
 - o Des substituts de repas à base de soja et de protéines végétales utilisent des nanoparticules,
 - o Des compléments alimentaires sont créés, relevant de nanotechnologies,
 - o L'encapsulation sous forme nano-particulaire fait l'objet de recherche et de développement, dans le champ des arômes, à des fins de modification organoleptique, de protection de molécules fragiles ou de contrôle de la libération dans l'aliment ou l'organisme.

Pour continuer :

Le gouvernement français a missionné en ce moment la CNDP (Commission Nationale du Débat Public) pour instaurer des débats un peu partout en France pour éclairer tous les aspects liés à ces nouvelles technologies. Ainsi un tel débat aura lieu à Besançon le 24 novembre 2009 sous le titre :

« nanotechnologies, je m'informe, je m'exprime ». Pour en savoir plus, consultez le site Internet :

www.debatpublic-nano.org

Merci encore à Eric LESNIEWSKA et à Wilfrid BOIREAU qui ont su nous mettre « l'eau à la bouche » pour approfondir ce domaine des nanotechnologies.

Rédacteur : Jean-Pierre BULLIARD
Président de l'URIS de Franche-Comté
Président des Ingénieurs INSA de Franche-Comté

Les photos de cette belle soirée



Eric LESNIEWSKA



Wilfrid BOIREAU



Jean-Pierre BULLIARD



Pascal REMOND anime la soirée



M. ARBEZ (CCI) avec Eric LESNIEWSKA



La salle attentive



Salle vue de l'arrière – Photos « copyright » de Jean RESTLE