

# Une première approche des micro et nanotechnologies pour les jeunes collégiens et lycéens

M. Respaud<sup>a,b,c</sup>, R.P. Tan<sup>a</sup>, J-B. Lincelles<sup>a</sup>, J. Harmel<sup>a</sup>, C. Rouabhi<sup>a</sup>,  
C. Capello<sup>a</sup>, J. Schaubert<sup>a</sup>, F. Gessinn<sup>a</sup>

<sup>a</sup> AIME et pôle CNFM de Toulouse, Université de Toulouse, INSA, 135 avenue de Ranguel, 31077 Toulouse, France

<sup>b</sup> Département de Génie Physique, Université de Toulouse, INSA, 135 avenue de Ranguel, 31077 Toulouse, France

<sup>c</sup> CEMES-CNRS, Université de Toulouse, Toulouse, France

Contact email : [respaud@aime-toulouse.fr](mailto:respaud@aime-toulouse.fr), [micro.el@insa-toulouse.fr](mailto:micro.el@insa-toulouse.fr)

Dans le monde où la technologie est de plus en plus invasive, offrant un complexe mélange d'apports positifs et négatifs dans nos vies personnelles et professionnelles, l'acquisition d'une culture scientifique et technologique est devenue une obligation pour tout citoyen désireux d'être en capacité d'avoir une réflexion éclairée et étayée face aux grandes questions et aux choix techniques à opérer. Dans ce contexte, nous proposons une première approche des micro et nanotechnologies adaptée au grand public, plus particulièrement aux jeunes collégiens et lycéens, dans un programme mobilisant leurs connaissances dans l'ensemble des champs disciplinaires. Pour donner une approche plus concrète, une visite de salle blanche et deux expériences sont proposées, illustrant les technologies de micro-fabrication sur substrat Si et les principes de la métrologie et des capteurs.

## I. Introduction

Permettre aux jeunes collégiens et lycéens d'avoir une première expérience concrète des nanotechnologies est un enjeu majeur compte tenu de notre monde technologique et des questions éthiques critiques qui y sont associées. Motiver les jeunes à embrasser des carrières scientifiques est une autre question importante. Comment aborder ce sujet ?

## II. En pratique

Pour ce-faire, nous proposons un programme tout au long de l'année qui sera suivi par chaque élève dans sa propre classe, incluant une journée de travaux pratiques en salle blanche à l'AIME (Atelier Interuniversitaire de Micro-Électronique, du pôle CNFM de Toulouse). Ce travail débute généralement au collège par une conférence et une discussion introductive sur l'histoire des micro-nanotechnologies, réalisée par un enseignant-chercheur. Les principales étapes de la science fondamentale et des technologies intégrées aux silicium (Si) sont présentées. Leurs applications et leurs influences sur notre vie quotidienne sont discutées.

Ce travail se poursuit tout au long de l'année, par l'introduction de certains concepts de base en mathématiques et en physique, mais aussi en histoire (impact de l'innovation) ou en littérature. Par exemple, sur ce dernier point quelles étaient les vies et les inventions anticipées par rapport à la nôtre ?

Ensuite, une journée entière est consacrée à la visite de l'AIME et à des travaux pratiques dans la salle blanche. La visite est illustrée à la figure 1A. La classe est divisée en deux groupes et deux activités sont menées en parallèle. La première est une visite de notre salle blanche et de nos installations. Les processus standards sont expliqués et des démonstrations d'équipements sont effectuées. Pour illustrer l'utilisation et la conception d'une nanostructure sur Si, les étudiants réalisent un processus de photolithographie sur une plaquette oxydée de Si recouverte d'une couche d'aluminium (Al). Pour cela, ils préparent un dessin, par exemple un logo (haut de la figure 1B). Ensuite, le personnel de l'AIME procède avec eux à l'étape de photolithographie et à la gravure humide de l'Al (en bas de la Fig.1B). Parallèlement, l'autre groupe participe à un travail pratique sur le nano-carbone. Les étudiants fabriquent des jauges de contrainte au crayon sur papier, en suivant le protocole décrit dans la référence (1).

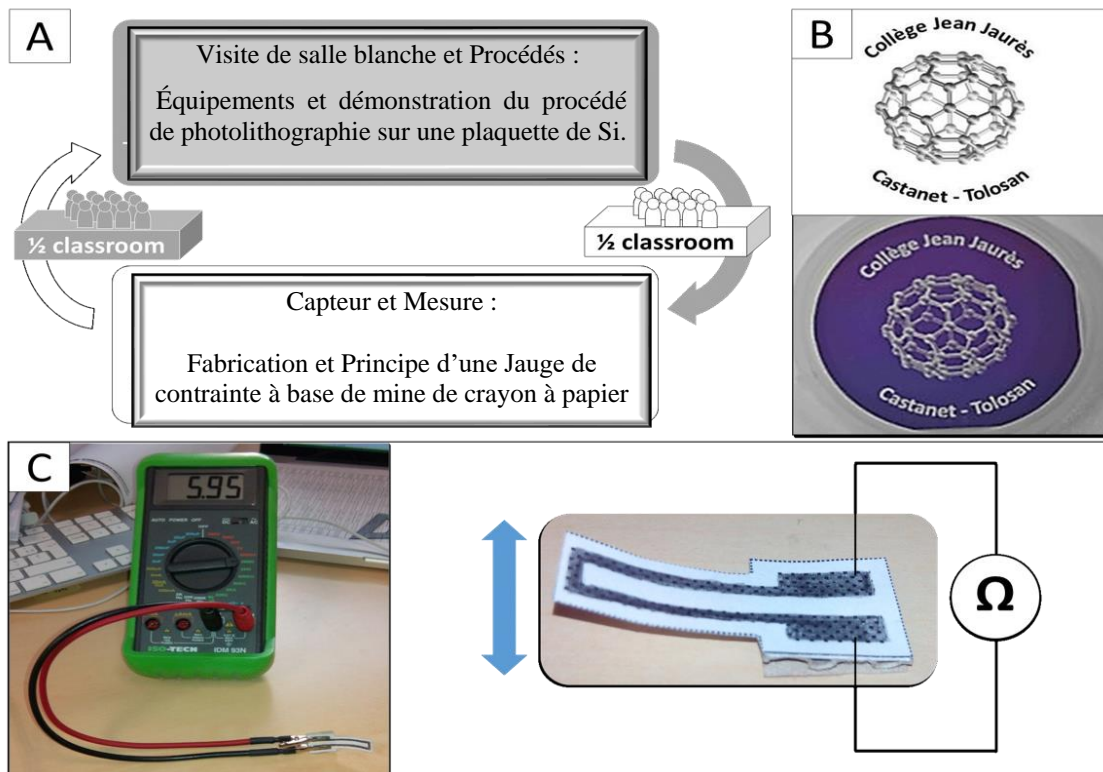


Fig.1. : A) Déroulement général d'un travail pratique (1 jour) avec des élèves de collège, B) Conception proposée par une classe (en haut) et son transfert sur une plaquette de Si (en bas), C) Photos réalisées par les élèves des jauges de contrainte à base de graphite et de la mesure électrique.

Avant de commencer la partie expérimentale, une première étape vise à ce que les élèves s'interrogent sur la notion de capteur :

- Citer des exemples de capteurs dans la vie courante.
- Comment un capteur s'insère dans un système électronique ?

- Comprendre le rôle d'un capteur comme un composant qui permet de traduire une grandeur physique/chimique en grandeur électrique mesurable intégré dans un système électronique.

La deuxième étape vise à présenter les notions de grandeurs électriques, avec les unités, et les appareils de mesure qui leur sont associés. Le protocole de mesure de la résistance électrique avec l'application de la loi d'Ohm est présenté, avant sa mise en œuvre. Cela permet de préciser les notions de matériaux conducteurs, isolants.

Après ces rappels théoriques, les élèves préparent leurs capteurs (Fig.1C). Ils reportent de la matière sur la zone prédéfinie avec différents types de crayons (HB et 3B par exemple, avec différents teneurs en carbone), puis mesurent la résistance de leurs jauges à l'aide du multimètre. En les déformant vers le haut ou vers le bas, ils observent une variation de résistivité, respectivement une diminution et une augmentation.

Une discussion générale s'engage alors pour interpréter ces résultats expérimentaux :

- Que mesurent-ils ?
- Quel est le principe d'une mesure de résistivité ?
- Qu'est-ce qui a été déposé ?
- Quels sont les différents types de structures de carbone (diamant, graphite, graphène, nanotube et fullerène) et leurs propriétés respectives ?
- Pourquoi la résistance de leur capteur change-t-elle ?
- Pourquoi la structuration granulaire de la couche est importante ?
- Pourquoi la forme du circuit déposé est importante au regard la grandeur mesurée ?
- Quelles applications peut-on envisager avec ce type de capteur ?
- Quels sont les avantages et les inconvénients d'une telle technologie ?

### **III. Conclusion**

Cette simple série d'expériences présente un grand intérêt pour de nombreuses raisons. D'un point de vue théorique, nous pouvons discuter de la mesure de la résistance basée sur la loi d'Ohm, une application directe de leurs cours. Ces jauges de contrainte sont faciles et rapides à réaliser, de sorte que les expériences peuvent être effectuées avec un minimum de mobilier scolaire, bien qu'un multimètre soit nécessaire. Les questions fondamentales concernant l'innovation, la réduction des coûts et le renouvellement des technologies peuvent ainsi être abordées avec les élèves de collège. Deuxièmement, en lisant la publication, ils peuvent avoir un premier aperçu d'une approche scientifique typique (propriétés structurelles, caractérisation microscopique, propriétés électriques, discussion...). Enfin, cette expérience simple peut servir de base pour aborder de nombreux domaines prospectifs et émergents liés aux nanotechnologies, tels que l'utilisation de substrats flexibles, biosourcés, à faible impact écologique, avec l'utilisation de matière organique ou à base de carbone.

### **Remerciements**

Les auteurs remercient le GIP-CNFM (Coordination Nationale de Formation en Micro-électronique et Nanotechnologies) (2), les programmes IDEFI FINMINA ANR 2011 (3) IDEFI DEFI-DIVERSITES ANR 2011, le LABEX NEXT et l'EUR NanoX pour leurs contributions au financement de ces développements et plus récemment le projet France 2030, AMI-CMA INFORISM (4).

## Références

1. C. Lin, Z. Zhao, J. Kim, and J. Huang, "Pencil Drawn Strain Gauges and Chemiresistors on Paper", *Sci. Rep.*, vol.4, 3812, 2015. DOI:10.1038/srep03812
2. GIP-CNFM : Groupement d'Intérêt Public - Coordination Nationale pour la Formation en Microélectronique et en nanotechnologies - Website : <http://www.cnfm.fr>
3. IDEFI-FINMINA : Initiative D'Excellence en Formations Innovantes - Formation INnovante en Microélectronique et NANotechnologies, ANR-11-IDFI-0017
4. INFORISM, INGénierie de FORMations Innovantes et Stratégiques en Microélectronique, projet ANR-23-CMAS-0024-INFORISM au titre du programme France 2030. Ce projet à 5 ans démarre au cours de l'année académique 2023-2024.