

Nanoparticules : de la synthèse au dépôt contrôlé

Nathalie Lidgi-Guigui^{*1}, Jeanne Solard², Mahmoud Chakroun², Philippe Djemia¹, Florent Tetard¹, Alexis Fischer²

¹ Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, IUT de Saint-Denis, 93206 Saint Denis, France

² Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, Centrale de Proximité en Nanotechnologies de Paris Nord, IUT de Villetaneuse, 99 Avenue Jean Baptiste Clément, 93430 Villetaneuse, France

*nathalie.lidgi-guigui@univ-paris13.fr

1. RESUME

Dans le cadre du nouveau programme pédagogique du DUT Science et Génie des Matériaux, a été introduit un module "matériaux, innovation et développement durable." Au sein de l'IUT de Saint-Denis et en coordination avec la Centrale de Proximité en Nanotechnologies de Paris Nord de l'Université Paris 13 nous avons choisi de mettre en place un enseignement sur les nanomatériaux comprenant des TP sur la synthèse et le dépôt de nanoparticules. Nous aborderons avec les étudiants, la synthèse de nanoparticules métalliques par chimie verte et nous en étudierons les propriétés optiques. Dans un second temps nous aborderons en salle blanche les différentes techniques qui permettent un dépôt contrôlé de ces nanoparticules : fonctionnalisation de surface, dip-coating, et spin-coating. Ces savoir-faire viendront compléter et renforcer les compétences déjà présentes pour les travaux pratiques de dépôt de nanoparticules auto-organisées.

2. INTRODUCTION

Les objectifs du DUT de Sciences et Génie des Matériaux sont de former des techniciens connaissant les propriétés des matériaux (métalliques, polymères, verres, céramiques, composites, multi-matériaux et agro-matériaux) et maîtrisant les procédés permettant de façonner et de caractériser ces matériaux. Depuis 2014, le programme pédagogique national (PPN) inclus un module "matériaux, innovations et développement durable". Il est stipulé que l'enseignement dispensé devra aborder des sujets concernant les nouveaux matériaux, les nouvelles énergies, les ressources renouvelables et la sécurité des biens et des personnes. Nous avons choisi d'utiliser le thème des nanomatériaux en général et plus particulièrement celui des nanoparticules pour traiter de ces sujets.

3. LA PLATEFORME D'ENSEIGNEMENT

L'université Paris 13 est composée de 9 composantes dont trois IUTs parmi lesquels les IUTs de Saint Denis (<http://www.iutsd.univ-paris13.fr/iutsd/>) et de Villetaneuse (<http://www.iutv.univ-paris13.fr/>). Le département SGM (<http://www.iutsd.univ-paris13.fr/iutsd/sgm.html>) fait partie de l'IUT de Saint-Denis et est situé sur le site de la Halle Montjoie (la Plaine Saint Denis) où des salles de cours et de TP sont à disposition. La Centrale de Proximité en Nanotechnologies (CPN, <http://www.cpn2.fr/foswiki/bin/view/Main/WebHome>), quant à elle, se trouve sur le site de Villetaneuse. L'organisation de l'enseignement doit tenir compte de cette spécificité.

3.1. Le public

Les étudiants auxquels s'adresse ce module sont en fin de deuxième année de DUT. Ils ont déjà effectué un stage en entreprise d'au moins 10 semaines et ont pu approfondir leur projet professionnel à travers un module dédié. Les projets tutorés sont l'occasion pour eux d'apprendre à

gérer un projet en groupe. D'autre part la formation par DUT est très orientée technique et finalement assez peu de notions théoriques sont transmises.

Les étudiants concernés ont donc une maturité vis-à-vis de leurs objectifs personnels et ont été formés à mettre en œuvre ce projet de formation. Par conséquent c'est un public motivé et exigeant. Cependant, la relative faiblesse de leur niveau théorique ne permet pas d'aborder de manière approfondie les concepts sous-jacents aux techniques de synthèses ou de caractérisation.

3.2. Les cours

Le contenu des cours (~10 h) abordera les nanomatériaux dans leur ensemble en considérant leurs applications dans les principaux domaines : électricité, photonique et magnétisme. Les différents types de synthèses seront abordés (chimique et physique). A chaque fois l'accent sera mis sur l'utilisation des nanomatériaux pour les nouvelles énergies.

Un point sera également fait sur l'hygiène et la sécurité relative à l'utilisation des nanomatériaux. Ce point sera renforcé lors d'une demi-journée d'habilitation au travail en salle blanche.

Le nouveau PPN étant résolument tourné vers l'utilisation des matériaux dans un cadre éco-responsable, les étudiants seront sensibilisés dès les cours magistraux aux synthèses propres des nano-objets. Ce point sera approfondi lors des séances de TP puisque nous les techniques de chimie dite verte seront abordées.

Bien que le PPN ne préconise pas de séance de TP, il nous a semblé plus pertinent dans le cadre d'une formation DUT de mettre l'accent sur le travail pratique. Cela d'autant plus que la CPN de Paris Nord est hébergé par l'un des IUT de l'Université Paris 13 et a été conçue dans un but pédagogique.

4. LES TRAVAUX PRATIQUES

4.1. Organisation

Les TP se dérouleront en deux séances de 4h chacune. La première aura lieu dans les locaux du département SGM. Une synthèse de nanoparticules par synthèse de Turkevitch [1] sera proposée. Cette synthèse est célèbre car elle est extrêmement facile à mettre en œuvre. L'usage de citrate de sodium est l'un des points clé de cette synthèse. En effet, les citrates permettent de stabiliser les nanoparticules et ainsi de contrôler leur taille.

La chimie verte est un ensemble de techniques qui visent à réduire voire éliminer l'usage ou la production de substances dangereuses pour l'environnement. De manière à sensibiliser les étudiants à ces nouveaux concepts, nous leur proposerons de remplacer le citrate de sodium acheté chez les fournisseurs habituels par des composés naturels : jus de citron [2] ou feuilles de thé [3]. Le succès de la synthèse sera caractérisé sur place par spectroscopie UV-visible.

Dans un second temps des TP auront lieu au sein de la CPN. Lors de cette seconde partie, les étudiants verront plusieurs procédés de dépôt des nanoparticules sur des lames de verre. La méthode de Turkevitch produisant des nanoparticules relativement petite (quelques nanomètres de diamètre), nous utiliserons également des particules commerciales de quelques centaines de nanomètres qui seront plus aisées à caractérisées.

Les techniques de dépôts utilisés seront le dépôt sur lames silanisées, le spin-coating et le deep-coating. La caractérisation de ces dépôts sera faite par microscopie optique, microscopie à force atomique, et profilométrie.

En fin de séance, une démonstration de nanostructuration de surface par lithographie électronique sera faite.

4.2. Les méthodes

La première partie du TP concernant la synthèse par chimie verte dure 4h. Il est délicat d'aborder différents procédés de fabrication (acide citrique, feuille de thé, citrate de sodium, etc) et d'étudier l'influence de paramètre tel que le pH par exemple. C'est pourquoi, chaque binôme se verra attribuer une expérience spécifique définie dans le cadre d'un plan d'expérience. La dernière heure de la séance de TP sera consacrée à un bilan des résultats sur l'ensemble de la classe.

En termes de formation, cette procédure est tout à fait valorisable pour un technicien matériaux qui candidaterait sur un poste où l'élaboration de matériau aux propriétés contrôlées est demandée.

La difficulté de la seconde partie du TP est que le matériel et l'espace ne seront pas suffisants pour que tous les binômes abordent la même expérience simultanément. Il sera donc indispensable d'organiser des TP "tournants". Ce type de TP est souvent éreintant pour les enseignants qui ont besoin de sauter d'expérience en expérience sans pouvoir faire de pause. Pour les étudiants, ces séances paraissent parfois ennuyeuses puisqu'ils sont sommés d'attendre la disponibilité d'un enseignant pour avoir le droit de débiter une manip. Une solution est d'augmenter le nombre d'enseignants, c'est pourquoi il y en aura deux pour encadrer les séances. Mais les contraintes budgétaires n'autorisent guère d'aller plus loin.

De manière à pallier cette difficulté tout en dynamisant la séance, nous proposons d'introduire des techniques pédagogiques innovantes : les "classroom assessment techniques" (CATs). Ces méthodes d'évaluation innovantes peuvent prendre différentes forme [4, 5]. Dans le cadre de ces TP nous proposons de débiter la séance par une première évaluation d'une durée de 10 minutes dont le but est de vérifier que les étudiants ont compris les objectifs du TP tant scientifiques que pédagogiques ainsi que les protocoles qui seront mis en place.

Entre chaque expérience, durant 10 à 15 minutes, les étudiants auront pour tâche d'écrire:

- Un bref résumé des résultats qu'ils viennent d'obtenir
- L'intérêt que ce type d'expérience peut avoir
- Au moins une question (sur le fond ou sur le protocole) qu'ils se posent sur cette expérience

L'organisation de ces brèves évaluations poursuit plusieurs objectifs. D'un point de vue purement pratique. Ces 10 à 15 minutes de test, permettront aux enseignants d'expliquer l'usage de chaque manip à un nouveau groupe sans pour autant que les étudiants soient dans une situation de passivité totale. D'un point de vue pédagogique, les CATs permettent aux étudiants de se repositionner régulièrement dans la chronologie d'un protocole expérimental. Cela leur permet de prendre de la distance par rapport à ce qu'ils font et donc d'en tirer un meilleur profit. L'enseignant évalue en temps réel la compréhension des étudiants. Il peut donc décider d'arrêter le TP à tout moment pour faire un point. En particulier, l'évaluation à l'entrée du TP permet d'interdire la poursuite de la séance à tout étudiant qui n'en aura pas bien compris les ambitions. Finalement, ces évaluations régulières serviront aux étudiants pour construire le compte rendu.

5. CONCLUSION

En conclusion, dans le cadre du nouveau PPN du département Science et Génie des Matériaux, nous proposons de mettre en place un enseignement sur les nanoparticules qui inclura une grande part expérimentale. La sensibilisation à la chimie verte et au travail en salle blanche seront deux atouts de poids pour de futurs techniciens. En termes de poursuite d'étude, ces nouvelles compétences leur ouvrira les porte de la licence professionnelle PON (photonique optronique et nanosciences).

D'un point de vue pédagogique, le travail de groupe et les CATs permettront de dynamiser les séances de TP. Les étudiants seront moins passifs et plus impliqués dans la procédure expérimentale.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1]B. V. Enüstün and J. Turkevich JACS, 1963, 85, 3317
- [2]S. Pandey, G. Oza, M. Vishwanathan and M. Sharon, Annals of Biological Research, 2012, 3, 2378
- [3]R. K. Sharma, S. Gulati, and S. Mehta, J. Chem. Educ. 2012, 89, 1316
- [4]Classroom Assessment Techniques: A Handbook for College Teachers, 2nd edition, by Thomas A. Angelo and K. Patricia Cross (Jossey-Bass, 1993)
- [5]<http://www.celt.iastate.edu/teaching-resources/classroom-practice/teaching-techniques-strategies/check-student-learning/>

7. INFORMATIONS SUR LES AUTEURS

Auteur correspondant :

Nathalie Lidgi-Guigui, nathalie.lidgi-guigui@univ-paris13.fr

Nathalie Lidgi-Guigui est Maître de Conférence à l'Université Paris 13 depuis 2011. Elle enseigne au département de génie biologique de l'IUT de Bobigny et au sein du département de Sciences et Génie des Matériaux (SGM) de l'IUT de Saint Denis. Son intérêt pour les pédagogies innovantes l'a conduit à participer à la formation des moniteurs au sein de l'Université de Technologie de Troyes. Elle met en place des stratégies originales d'enseignement, notamment dans le cours qu'elle a créé autour des nanomatériaux. Ce sujet lui est particulièrement cher puisque elle étudie les propriétés optiques des nanoparticules métalliques pour fabriquer des capteurs ultra-sensibles.

Jeanne Solard, jeanne.solard@iutv.univ-paris13.fr

Ingénieure d'étude attachée à la C(PN)₂

Mahmoud Chakroun, mahmoud.chakaroun@iutv.univ-paris13.fr

Maître de conférence à l'IUT de Villetaneuse

Philippe Djemia, djemia@univ-paris13.fr

Professeur à l'IUT de Saint Denis

Florent Têtard, florent.tetard@univ-paris13.fr

Chef du département de Sciences et Génie des Matériaux à l'IUT de Saint Denis

Alexis Fischer, Alexis.Fischer@iutv.univ-paris13.fr

Directeur de la C(PN)₂