

## Proposition de thèse

### *"Réponse optique de nanostructures métalliques et semi-conductrices"*

---

Contact: Arnaud Arbouet ([arbouet@cemes.fr](mailto:arbouet@cemes.fr)) – Vincent Paillard ([paillard@cemes.fr](mailto:paillard@cemes.fr))  
CEMES – CNRS UPR 8011  
BP 94347 – 29 rue Jeanne Marvig – 31055 TOULOUSE Cedex 4

---

La réduction de la taille de solides jusqu'à des dimensions de l'ordre du nanomètre entraîne une modification spectaculaire de leurs propriétés physiques (électroniques, vibrationnelles, optiques). Celles-ci dépendent alors de la taille, de la forme et de l'environnement local des nano-objets. En contrôlant ces paramètres, il est possible de concevoir et fabriquer un nano-système ayant les propriétés désirées. Le grand nombre d'applications potentielles de ces objets est à l'origine de l'engouement actuel pour les nanosciences et les nanotechnologies. Le CEMES a acquis une grande renommée dans les domaines de la conception, fabrication, caractérisation et modélisation de nano-objets, ainsi que dans les méthodes ultrasensibles d'investigation de leurs propriétés physiques. Le projet que nous portons bénéficiera de cet environnement entièrement dédié aux nanosciences, nanomatériaux et nanotechnologies.

Ce projet vise à *étudier la réponse optique d'une nanostructure individuelle*. Il comporte un volet expérimental visant à *développer une technique originale de spectroscopie optique modulée spatialement*. Cette technique innovante permet de détecter et d'accéder aux propriétés optiques (section efficace d'absorption ou de diffusion) d'un seul nano-objet en s'affranchissant des effets de moyenne, inconvénient des techniques couramment utilisées aujourd'hui. Il comporte également un volet théorique visant à *modéliser et simuler numériquement la réponse optique* des nanostructures étudiées au moyen de techniques performantes (Discrete Dipole Approximation, fonctions de Green). Ce travail de modélisation se fera dans le cadre de collaborations internes au laboratoire.

La mise au point du dispositif expérimental permettra d'étudier *la réponse optique stationnaire (absorption, diffusion, extinction) de nanoparticules semiconductrices (Si, ZnO) ou métalliques (Au, Ag)*. Une perspective importante est d'étudier des nanocristaux de silicium (Si-NC), dont le nombre et la position sont maîtrisés. Le système de Si-NC inclus dans un composant de type MOS est développé grâce à la manipulation des Si-NC dans le cadre d'une collaboration entre CEMES, INSA Toulouse, EPF Lausanne et IMEL Demokritos (Athènes). Elle consiste en une technique originale d'implantation ionique à très basse énergie d'ions silicium dans une fine couche de silice à travers des masques présentant des ouvertures de dimensions variables (0.1 à 1  $\mu\text{m}$ ). Cette technique permet de fabriquer un nombre contrôlé (entre quelques unités et plusieurs dizaines de milliers) de Si-NC en contrôlant parfaitement leur localisation dans le plan du substrat. *Nous souhaitons mener à bien l'étude de la réponse optique stationnaire de tels dispositifs et également étudier l'impact de l'injection de charges sur les propriétés optiques des Si-NC.*

Un autre axe intéressant est l'étude de la réponse optique de nano-objets à base de métaux nobles présentant une exaltation de leur réponse optique dans la partie visible du spectre électromagnétique. Cette exaltation se traduit par l'apparition d'une ou plusieurs résonances plasmon de surface dont les caractéristiques sont très fortement influencées par le matériau, la taille, la forme ou l'environnement du nanoobjet. Au-delà d'un intérêt fondamental évident, l'étude de ces nanostructures plasmoniques a de nombreuses applications potentielles. En effet, l'excitation de résonances plasmon de surface permet

d'exalter le champ électromagnétique et de concentrer l'énergie à l'échelle de quelques nanomètres. Les possibilités de guider la lumière et de faire interagir lumière et matière de façon extrêmement localisée sont à l'origine de l'essor de la « nano-optique ». L'étude de l'influence du couplage entre deux objets voisins sera réalisée.

Dans chacun de ces cas, les mesures expérimentales seront systématiquement confrontées aux résultats d'un travail de modélisation et de simulation numérique réalisé dans le cadre d'une collaboration interne au laboratoire.

Enfin, l'étude de nano-systèmes plus complexes composés d'une nanoparticule semi-conductrice couplée à une nanostructure métallique est extrêmement prometteuse. En effet, il est possible d'utiliser les résonances plasmon de surface de cette dernière afin de modifier les propriétés d'absorption et d'émission de la nanoparticule semiconductrice. Ainsi, des travaux récents (Atwater et coll., Nanoletters 2006) ont montré qu'on pouvait exalter ou au contraire détruire la luminescence en plaçant des nanostructures de métaux nobles à proximité des Si-NCs. *L'étude expérimentale et théorique de la réponse optique de nanostructures hybrides composées de nanoparticules de silicium situées à proximité d'une nanostructure métallique* est un préalable indispensable à la réussite de cette entreprise (définition précise des nanostructures métalliques, couplage métal-métal et métal semi-conducteur).

*L'achat programmé d'une source laser impulsionnelle par le laboratoire ouvre également comme perspective l'étude des propriétés optiques non-linéaires et de la dynamique électronique et vibrationnelle ultrarapide de nanostructures métalliques ou semi-conductrices.*

#### **Contexte scientifique :**

Développement de spectrométries optiques au CEMES. Rapprochement de compétences expérimentales et théoriques sur nanoobjet unique. Nombreuses collaborations internes (CEMES), locales (LPCNO-INSAT) et européennes (IMEL, EPFL).

Arnaud Arbouet [arnaud.arbouet@cemes.fr](mailto:arnaud.arbouet@cemes.fr)  
Vincent Paillard [vincent.paillard@cemes.fr](mailto:vincent.paillard@cemes.fr)  
Tél. 05 62 25 79 10

**Candidat :** Le profil recherché est un(e) physicien(ne) attiré(e) par les développements expérimentaux, et motivé(e) par la modélisation. Des compétences en informatique (Fortran, Matlab, LabView) seront appréciées.