

**Sujet de thèse** proposé par le Groupe Matériaux Cristallins sous Contrainte (MC2) du CEMES/CNRS (UPR8011)

**Titre : Rôle des interfaces et des surfaces dans l'état de contrainte de nanostructures pour la photonique**

**Directeurs de thèse :** Christophe Gatel (MC) ; Tél : 05 62 25 78 93; [gatel@cemes.fr](mailto:gatel@cemes.fr)  
Anne Ponchet (DR2) ; Tél : 05 62 25 78 93; [ponchet@cemes.fr](mailto:ponchet@cemes.fr)

**Sujet :** Les antimoniures d'éléments III (InSb, GaSb...) sont des matériaux à petit gap, en pleine émergence pour fabriquer de nouvelles sources de lumière dans le moyen infrarouge (2 à 5  $\mu\text{m}$ ). Cette gamme de longueur d'onde, encore peu explorée, comporte des fenêtres de transparence de l'atmosphère potentiellement stratégiques pour les télécommunications, et la détection de molécules ou de polluants....

L'un des enjeux majeurs posés par leur élaboration sous forme de puits et boîtes quantiques est la maîtrise des interfaces et des déformations locales. Les différences de paramètres de maille avec les substrats de qualité industrielle sur lesquels ils sont épitaxiés sont très importantes. Par ex. cette différence est de 10% entre InSb et le substrat InP, ce qui engendre des contraintes internes considérables, de l'ordre de 5 GPa, qui peuvent être relaxées par croissance 3D. Dans certains cas l'antimoine (Sb) joue un rôle surfactant : il flotte en surface sans s'incorporer, ce qui modifie fortement les états de contraintes. Enfin, la façon dont on « gère » les changements d'éléments III et V aux interfaces est utilisable comme outil de structuration : Ainsi, dans des lasers dans lesquels les puits (InAs) et les barrières (AlSb) n'ont aucun atome en commun, les liaisons de la couche d'interface sont soit du type InSb, soit du type AlSb ; ces liaisons seront à l'origine de distorsions locales très importantes (7%) par rapport à la « structure moyenne ».

**La stabilité de nanostructures aussi fortement contraintes, et la compréhension du lien entre leurs propriétés optiques et mécaniques** soulèvent donc de nombreuses questions telles que : Quelles sont les propriétés « élastiques » d'une interface ? Quel est l'état réel de déformation d'un nano-objet, tel qu'un puits ou une boîte de quelques plans atomiques (soit 1 à 3 nm) ? Peut-on relier cet état de déformation/contrainte aux caractéristiques optiques via les structures de bandes ? Comment modifier l'état de contrainte donc les propriétés d'un puits quantique en « jouant » sur les caractéristiques structurales des interfaces ?...

**Dans cette thèse à dominante expérimentale,** nous utiliserons des approches très locales d'analyse des déformations, avec comme finalité de comprendre et maîtriser le rôle des interfaces sur les états de contraintes et les propriétés optiques. Le principal outil sera la microscopie électronique en transmission en mode haute résolution (HREM), qui permet de « visualiser » les colonnes atomiques à une échelle spatiale inférieure au nanomètre. L'interprétation des images fera appel à des techniques d'analyse et de simulation d'images. Une autre perspective expérimentale sera d'évaluer l'apport d'autres méthodes avancées de microscopie, telles que l'holographie électronique, et l'analyse chimique par pertes d'énergie. Ces expériences utiliseront des microscopes très performants dont le TECNAI de résolution 0.12 nm et équipé d'un correcteur d'aberration sphérique éliminant les artefacts aux interfaces. Le doctorant pourra aussi s'impliquer s'il le souhaite dans des modélisations physiques qui chercheront à décrire les états de contraintes à l'échelle atomique.

**Contexte :** Ce projet émergent est soutenu et financé par le GDR C'NANO Grand Sud-Ouest, dans le cadre d'une collaboration avec l'IES-MIR de Montpellier sur les lasers à cascade quantiques InAs/AlSb. Un autre partenaire est le laboratoire FOTON (INSA de Rennes), très actif dans l'élaboration des structures à boîtes quantiques InSb/InP. Le doctorant sera naturellement intégré au nouveau groupement de recherche national « Mécanique des Nano-Objets » (GDR MECANO) dans lequel le groupe MC2-CEMES est très impliqué.

**Références récentes :**

[http://www.cemes.fr/r2\\_rech/r2\\_sr3\\_mc2/theme3.htm](http://www.cemes.fr/r2_rech/r2_sr3_mc2/theme3.htm)

[1] *Strong generation of coherent acoustic phonons in semiconductor quantum dots*, Devos, Poinssotte, Groenen, Dehaese, Bertru and Ponchet, Phys. Rev. Letters 98 (2007)

[2] *TEM and Raman measurements of the misfit stress in a Si tensile strained layer*, Cabié, Ponchet, Rocher, Paillard and Vincent, Appl. Phys. Lett. 84, 870-872 (2004)

[3] *Comparative study of Pt, Au and Ag growth on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(001) surface*, Gatel, Snoeck, Surf. Science 600, 2650-2662 (2006)

[4] *Experimental evidence of the spin dependence of electron reflections in magnetic CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Au/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> trilayers*, Snoeck, Gatel, Serra et al. Phys. Rev. B 73, 104434 (2006)

[5] *Geometrical criteria required for the determination of the epitaxial stress from TEM*, Cabié, Ponchet, Rocher, Durand and Altibelli, Appl. Phys. Lett. 86, 191901 (2005)