



## **Offre de STAGE M2 avec THESE à suivre**

**Directeur de thèse: Laurent CHUSSEAU (IES)**

**Co-encadrant éventuel: Fabrice PHILIPPE (LIRMM)**

**Correspondant/Contact : CHUSSEAU Laurent, 04 67 14 49 75,  
laurent.chusseau@ies.univ-montp2.fr**

**Titre en français : Modélisation des lasers semiconducteurs à boîtes quantiques avec cavité étendue**

**Titre en anglais : Modelling of extended cavity quantum dots semiconductor lasers**

**Financement: Contrat ANR bilatéral franco-suisse**

**Profil(s) de candidats souhaité(s) : Master avec un gout prononcé pour la théorie**

**Présentation détaillée en français :**

Dans le cadre d'une collaboration internationale, nous développons à l'IES un nouveau concept de laser bi-fréquence à émission cohérente ultra-stable pour des applications microondes et photoniques aux longueurs d'onde des télécommunications. Ses domaines d'application potentielle sont la radio sur fibre, la délivrance et la détection de signaux radar, ou la génération THz par photomélangement. Ce nouveau laser combine une couche active semi-conductrice à base de boîtes quantiques (QD), et une émission verticale à cavité étendue (VCSEL) ce qui lui confère une puissance de sortie élevée, un régime laser de classe A, et une haute pureté spectrale.

La tâche à l'IES est de modéliser en détail la dynamique de ce nouveau dispositif pour aider au fonctionnement bi-fréquence stable et guider les optimisations des différentes étapes de fabrication. La principale difficulté physique des lasers semi-conducteurs à fonctionnement continu bi-fréquence vient de la concurrence entre modes qui peut entraver l'émission laser simultanée sur les deux modes. Dans le cadre d'un programme ANR précédent, nous avons montré analytiquement et numériquement (Monte Carlo) que les lasers semiconducteurs à couche active massive ou à puits quantiques ne sont pas adaptés pour ce régime bi-fréquence. Au contraire, il a été montré que les boîtes quantiques solutionnent le problème de la compétition modale parce que la différence entre l'élargissement de gain homogène due à la température et l'élargissement de gain inhomogène lié à la dispersion de taille des boîtes permet le découplage des modes, même si les boîtes quantiques sont couplées optiquement par un léger élargissement

homogène ou si l'échange direct d'excitation est autorisé par des états communs dans la couche de mouillage.

Dans cette thèse, les modèles précédents (analytique et Monte Carlo) seront étendus pour tenir compte de lasers de classe A au lieu de lasers de classe B, cette nouvelle condition inversant complètement les dynamiques des photons et des porteurs, elle influencera fortement la création ou l'importance du trou spectral qui est un des acteurs majeurs du couplage entre les modes. Les composants d'intérêt étant des VECSEL, ils permettent une grande surface de pompage (tant optique qu'électrique), en conséquence les variations spatiales du gain et de la thermique doivent être dorénavant inclus dans le modèle, car ils modifient fortement la répartition spatiale des porteurs et l'homogénéité spatiale des modes. La prise en compte de ces nouvelles conditions imposera une modélisation bidimensionnelle de la région de gain en cohérence avec notre modèle Monte Carlo existant, ce qui augmentera la complexité numérique et nécessitant des améliorations algorithmiques et informatiques pour éviter une explosion des temps CPU.

L'estimation des performances ultimes du laser bi-fréquence en terme de dynamique de du battement est attendue à l'issue de la thèse en fonction des caractéristiques des boites quantiques, de leur densité et/ou de leur couplage. Par exemple, le bruit intrinsèque de chaque mode et le bruit du battement devront être estimés. Si le premier est déjà disponible dans notre modèle Monte Carlo, le dernier reste bien plus difficile à évaluer et nécessitera la définition et la mise en œuvre de nouvelles méthodes.

**Présentation détaillée en anglais** (non obligatoire mais recommandé) :

In the framework of an international collaboration we develop at IES a new concept of an ultra-stable coherent dual-frequency laser for microwave photonic applications at telecommunication wavelength. It covers applications from radio-over-fiber communications, delivery and detection of radar signals, up to THz wave signal generation by photomixing. The new device will combine a semiconductor based active layer using quantum dots (QD), and a vertical external cavity surface emitting laser (VECSEL), this cavity design ensuring a high output power, class-A laser regime, and a high spectral purity.

The task at IES is to model in depth the dynamic of this new device to produce guidelines for stable dual-frequency operation and subsequent optimizations for the various steps of fabrication. The main physical difficulty of CW dual-frequency semiconductor lasers is the mode competition problem that may hamper the simultaneous laser emission over the two optical modes. In the framework of a previous ANR program, we have analytically and numerically (Monte Carlo) demonstrated that bulk and quantum-well are not well suited for stable dual frequency operation. To the contrary it was shown that QDs solve the mode competition problem because the difference between homogenous broadening due to temperature and inhomogenous broadening due to dot size dispersion helps decoupling the modes even if QDs are optically or electrically coupled.

In this PhD, previous models (analytical and Monte Carlo) have to be extended to account for Class A instead of Class B operation, a new condition that reverses completely the carrier and photon dynamics and will influence the spectral hole burning which is the major way of mode-coupling. Since laser architecture will rely on VECSEL, it allows a

large pumping (whatever optical or electrical) that must be included in the model as spatial gain and thermal extensions because both modify carrier spreading and modes homogeneity. A complete account of these new conditions will at least require a two-dimensional modeling of the gain region consistent with our Monte Carlo framework, thereby increasing the numerical complexity and requiring improved informatics modeling to constraint the increase of CPU time.

Ultimate estimations of the dual-frequency laser and beating dynamics are expected as a function of QD characteristics, QD density and/or coupling. For instance, the intrinsic noise of each mode and the beating noise will be estimated. The former is easily available within our Monte Carlo framework, the latter remains however more difficult to evaluate and the method has to be defined and constructed.

## References

- [1] L. Chusseau, F. Philippe, and F. Disanto, "Monte Carlo modeling of the dual-mode regime in a quantum well and quantum dot semiconductor lasers," *Opt. Express*, vol. 22, no. 5, pp. 5312–5324, 2014.
- [2] L. Chusseau, F. Philippe, P. Viktorovitch, and X. Letartre, "Mode competition in dual-mode quantum dots semiconductor microlaser," *Phys. Rev. A*, vol. 88, p. 015803, 7 2013.
- [3] J. Arnaud, L. Chusseau, and F. Philippe, *Quiet Lasers*. 2009. arXiv 0906.1469.
- [4] L. Chusseau and J. Arnaud, "Monte-Carlo simulation of laser diodes sub-poissonian light generation," *Opt. Quant. Electron.*, vol. 34, pp. 1007–1023, 2002.