

## Proposition de sujet de thèse (2015-2018)

**Titre :** Exaltation optique multi-diélectrique géante en espace libre

**Laboratoire :** Institut FRESNEL (UMR CNRS/Aix-Marseille Université/Ecole Centrale Marseille)

**Direction de thèse :** Claude AMRA, DR CNRS, responsable équipe CONCEPT

**Co-directeurs de thèse :** A. LEREU (CR CNRS), M. ZERRAD (IR AMU)

**Partenariats externes :** LMPC-Le Mans, IES-Montpellier, LICB- Dijon, Université de Hong-Kong

### Résumé de la thèse:

De nombreux travaux continuent d'être consacrés à l'exaltation locale du champ optique, pour différentes raisons :

- ✓ Dans le cas de sources lumineuses résultant d'un « pompage optique », l'exaltation permet de réduire la puissance incidente et donc le seuil de fonctionnement, conférant par ailleurs de multiples autres avantages (coût, vieillissement, encombrement...)
- ✓ Le cas des microcavités luminescentes n'est pas fondamentalement différent : il s'agit d'exalter la source secondaire, à la fois par un contrôle d'amplitude et de direction de l'émission. On peut alors imaginer exalter conjointement la pompe et l'émission...
- ✓ Enfin, l'exaltation décuple parallèlement la sensibilité des capteurs (environnement, vivant) aux contaminants et/ou polluants, quelquefois de plusieurs décades

La conception de telles structures amplificatrices de la densité d'énergie électromagnétique, a ainsi motivé nombre de travaux basés notamment sur la structuration de la matière en 1 (couches minces optiques), 2 (réseaux de diffraction) ou 3 (cristaux photoniques, méta-matériaux) dimensions. La plupart de ces structures peuvent par ailleurs bénéficier d'une technologie de réalisation spécifique, compte tenu des progrès des micro-nanotechnologies. Dans le domaine de l'optique intégrée, où la lumière doit être contrôlée eu égard à un microenvironnement tridimensionnel, les cristaux photoniques ou encore les antennes optiques fournissent des solutions essentielles. A l'inverse, pour l'optique en espace libre, les couches minces optiques (systèmes multicouches) sont une solution dominante. Dans l'un (optique intégrée) et l'autre (espace libre) cas, la synthèse de composants résonants constitue encore un challenge, de même que la fabrication des structures et la métrologie de l'exaltation.

***Ce travail de thèse adresse les phénomènes d'exaltation en espace libre par des solutions multi-diélectriques sous forme de couches minces optiques.*** Celles-ci peuvent être éventuellement hybridées avec des méta-matériaux. De nombreux travaux sont déjà publiés quant à cet objectif, et leur grande majorité met en jeu des composants de type plasmonique. Toutefois, si l'utilisation des métaux fournit une bonne stabilité du point de fonctionnement des composants, elle limite par ailleurs la performance des mêmes composants. De surcroît, ces composants ne peuvent pas forcément être conçus pour des conditions arbitraires d'illumination (longueur d'onde, incidence et polarisation). C'est pourquoi une partie de nos travaux s'est orientée depuis quelques années [1-4] sur la conception d'empilements multi-diélectriques fournissant, pour des conditions arbitraires d'éclairement données, une exaltation optimale du champ électromagnétique. Les objectifs généraux de cette thèse visent ainsi à concevoir, fabriquer et mesurer des empilements multi-diélectriques optimisés selon les conditions d'utilisation. Les premières applications envisagées concernent le développement de capteurs ultra-sensibles (environnement, vivant) et le développement de sources lumineuses ultra-performantes.

Ce sujet recouvre différents domaines de compétences en optique expérimentale et théorique. Les travaux s'appuieront sur une méthode de synthèse analytique déjà développée au sein de l'équipe, et validée sur quelques premiers prototypes via une expérimentation dédiée. Les applications concerneront les capteurs et requerront parallèlement d'adresser les processus de fonctionnalisation de surface, ainsi que les sources optiques.

L'équipe responsable de ce projet rassemble des spécialistes d'instrumentation optique, d'optique électromagnétique, de couches minces optiques, de diffusion lumineuse, ainsi que de plasmonique et de champ proche optique.

**Contact :** [myriam.zerrad@fresnel.fr](mailto:myriam.zerrad@fresnel.fr), [claudio.amra@fresnel.fr](mailto:claudio.amra@fresnel.fr)

## Références de l'équipe sur le sujet

1. Claude Amra and Sophie Maure, "Electromagnetic power provided by sources within multilayer optics: free-space and modal patterns," *J. Opt. Soc. Am. A* **14**, 3102-3113 (1997)
2. Claude Amra and Sophie Maure, "Mutual coherence and conical pattern of sources optimally excited within multilayer optics," *J. Opt. Soc. Am. A* **14**, 3114-3124 (1997)
3. Cesaire Ndiaye, Fabien Lemarchand, Myriam Zerrad, Dominique Ausserré, and Claude Amra, "Optimal design for 100% absorption and maximum field enhancement in thin-film multilayers at resonances under total reflection," *Appl. Opt.* **50**, C382-C387 (2011)
4. Aude L. Lereu, Myriam Zerrad, Césaire Ndiaye, Fabien Lemarchand, and Claude Amra, "Scattering losses in multilayer structures designed for giant optical field enhancement," *Appl. Opt.* **53**, A412-A416 (2014)
5. C. Ndiaye, M. Zerrad, A. L. Lereu, R. Roche, Ph. Dumas, F. Lemarchand, and C. Amra, *Appl. Phys. Lett.* **103**, 131102 (2013).

## Bibliographie hors équipe

1. A. V. Kabashin, P. Evans, S. Pastkovsky, W. Hendren, G. A. Wurtz, R. Atkinson, R. Pollard, V. A. Podolskiy and A. V. Zayats, "Plasmonic nanorod metamaterials for biosensing", *NATURE MATERIALS* /VOL 8/NOVEMBER 2009
2. E. Hendry, T. Carpy, J. Johnston, M. Popland, R. V. Mikhaylovskiy, A. J. Laphorn, S. M. Kelly, L. D. Barron, N. Gadegaard and M. Kadodwala, "Ultrasensitive detection and characterization of biomolecules using superchiral fields", *NATURE NANOTECHNOLOGY*/VOL 5/NOVEMBER 2010/
3. Sruthi Polali<sup>1</sup>, Danveer Singh<sup>1</sup> and G V Pavan Kumar, "Evanescent field-assisted intensity modulation of surface-enhanced Raman scattering from a single plasmonic nanowire" , *J. Phys. D: Appl. Phys.* **46** (2013) 195107 (5pp)
4. Y. A. Pirogov and A. V. Tikhonravov, "Multilayer interference absorber with arbitrary thickness of working layer," *Moscow Univ. Phys. Bull* **19**, 42-48 (1978) (in Russian).
5. V. Tikhonravov and Y. A. Pirogov, "Multilayer interference absorber with taking into account of losses in non-working layers," *J. Technicheskoi Fiziki* **50**, 673-679 (1980) (in Russian).
6. R. C. Nesnidal and T. G. Walker, *Appl. Opt.* **35**, 2226-2229 (1996).
7. J. Massaneda, F. Flory, and E. Pelletier, *Appl. Opt.* **38**, 4177-4181 (1999).
8. E. Descrovi, T. Sfez, L. Dominici, W. Nakagawa, F. Michelotti, F. Giorgis, and H.-P. Herzig, *Opt. Express* **16**, 5453-5464 (2008).
9. R. Sainidou, J. Renger, T. V. Teperik, M. U. Gonzalez, R. Quidant, and F. J. G. de Abajo, *Nano Lett.* **10**, 4450 (2010).
10. M. Ballarini, F. Frascella, F. Michelotti, G. Digregorio, P. Rivolo, V. Paeder, V. Musi, F. Giorgis, and E. Descrovi, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 043302 (2011).
11. M. Ballarini, F. Frascella, E. Enrico, P. Mandracci, N. De Leo, F. Michelotti, F. Giorgis, and E. Descrovi, *Appl. Phys. Lett.* **100**, 063305 (2012).
12. S. Pirotta, X. G. Xu, A. Delfan, S. Mysore, S. Maiti, G. Dacarro, M. Patrini, M. Galli, G. Guizzetti, D. Bajoni, J. E. Sipe, G. C. Walker, and M. Liscidini, *J. Phys. Chem. C* **117**, 6821-6825 (2013)