

# Unité d'Optique Nonlinéaire Théorique (ONT)

[www.ulb.ac.be/sciences/ont/](http://www.ulb.ac.be/sciences/ont/)

## Présentation générale

Le champ d'application principal des recherches menées au sein de notre groupe est l'optique, mais nous étudions également des problèmes de biologie, d'écologie, de mécanique et de chimie. Une spécificité de notre groupe est la recherche de résultats analytiques, notamment par le biais de méthodes asymptotiques. Nous sommes aussi actifs dans l'élaboration de modèles mathématiques pour les systèmes optiques. En tant que théoriciens, nous recherchons et apprécions particulièrement les collaborations avec des groupes expérimentaux.

Nos thèmes de recherche actuels sont:

- Points/traits quantiques et leurs applications en optoélectronique
- Lasers à semiconducteurs (avec injection, rétroaction, en réseaux)
- Lasers à blocage de modes: modélisation et stabilité
- Effets non linéaires transverses: structures optiques spatiales ou temporelles, solutions localisées et solitons dissipatifs
- Systèmes dynamiques à retard en physique, biologie et chimie
- Matériaux à indice de réfraction négatif
- Fibres optiques micro-structurées
- Milieux non linéaires et réseaux de Bragg
- Plasmons
- Optique non linéaire dans les micro-cavités avec modes de galerie
- Cellules photovoltaïques

N'hésitez pas à nous contacter si vous êtes intéressé(e) à réaliser un travail sur un de ces sujets.

Récemment le groupe ONT a fusionné avec l'unité de recherche sur la Dynamique des Fluides et des Plasma pour former l'unité de recherche

## **Physique des Systèmes Dynamiques**

Ci-dessous, la liste des sujets de mémoires de fin d'étude à l'intention des étudiants physiciens et ingénieurs.

## Motivation

L'accès à l'énergie est un enjeu majeur de notre temps. Il est un besoin primaire, tant à l'échelle d'un individu qu'à celle d'une nation. Son importance peut suffire à justifier des alliances politiques internationales douteuses, voire à motiver des conflits armés. Par ailleurs, le caractère fini de notre environnement et sa fragilité nous impose peu à peu à considérer notre approvisionnement énergétique sous l'angle de la durabilité écologique. Dans ce contexte, les scientifiques ont un rôle fondamental à jouer. Il leur incombe de trouver les moyens d'économiser l'énergie et de la produire avec un minimum d'impact environnemental.

Le photovoltaïque, c'est à dire la conversion de la lumière solaire en courant électrique, constitue une voie prometteuse de production propre d'électricité. Néanmoins, de nombreux efforts de recherche sont encore nécessaires, tant sur le plan fondamental que sur celui de la fabrication, afin de rendre compétitive cette méthode de production d'électricité. Il s'agit notamment de concevoir des cellules photovoltaïques capables d'absorber efficacement la lumière du soleil sur un spectre de fréquences aussi large que possible. Il s'agit aussi de trouver des moyens d'améliorer le transport des excitations électriques à l'intérieur de la cellule, notamment dans le cas des cellules solaires organiques. De même, certains aspects thermodynamiques restent à élucider afin de déterminer précisément le rendement théorique de ces cellules.

## Sujets proposés:

1. **Moisson lumineuse.** Récemment, une nouvelle méthode a été proposée afin de capter efficacement les photons solaires sur un large spectre, basée sur le concept des modes de galeries (Whispering Gallery Modes). Le système étudié consiste en un réseau de cylindres diélectriques posés sur la cellule solaire. Le travail consiste à étudier la réponse électro-magnétique de ce système en fonction de ses paramètres géométriques et diélectriques. L'étude doit permettre de mieux comprendre et de guider des expériences actuellement menées à ICFO, the Institute for Photonic Sciences, à Barcelone.
2. **Thermodynamique de l'effet photovoltaïque.** Plusieurs théories thermodynamiques des cellules solaires inorganiques (silicium) ont été proposées. Il s'agit dans ce travail d'en faire la revue critique, de les comparer, et de les adapter aux cellules solaires organiques. Dans ces dernières, il faut en effet tenir compte d'un mécanisme de transport de charges électriques différent et d'un fort confinement de la lumière.

Les travaux proposés comprennent une part de modélisation mathématique et une part de résolution numérique (matlab ou python).

## Motivation

Dans le cadre de la lutte contre le cancer, on désire fournir un traitement personnalisé pour chaque patient. Ceci nécessite de pouvoir suivre l'évolution de la maladie avec précision et en temps réel. Ainsi, la réponse du patient au traitement peut être évaluée rapidement et le traitement peut être adapté au cas par cas.

## Sujet proposé

C'est dans ce but que le projet GLAM a été approuvé par l'Union Européenne. Il s'agit de mettre au point un nouveau détecteur de bio-marqueurs de cancers présents dans certains fluides corporels comme le sang ou les urines. Dans ce projet, nous allons concevoir un micro-laser en anneau dont les caractéristiques d'émission seront fonction de la présence de certaines cellules cancéreuses dans les urines. Il est proposé de participer à la conception théorique de ce laser. L'étudiant(e) devra apprendre les principes de fonctionnement d'un laser et mettre en oeuvre une simulation numérique de l'architecture envisagée.

Le travail proposé comprend une part de modélisation mathématique et une part de résolution numérique (matlab ou python).

# Localized structures in broad-area VCSELs

Mustapha Tlidi (mtlidi@ulb.ac.be)  
02-650 59 05

Joint master thesis ULB and VUB

Responsibles: M. Tlidi (ULB) and K. Panajotov (VUB)

Localized structures often called cavity solitons (CSs) are nonlinear bright or dark pulses in spatially extended systems such as nonlinear optical cavities and lasers [1]. Either periodic or localized distribution of light can be generated in such systems through nonlinear light-matter interaction in the presence of two-dimensional diffraction and nonlinearity. When well separated from each other, CSs are independent and can be created and erased individually by means of externally addressing light pulses; however, when they are close to each other they interact and make complexes. Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers (VCSELs) are very well suited for studying and utilizing CSs because of their mature technology, fast dynamics and well understood dynamics [2,3]. We have pioneered the study of CSs when the VCSELs are subject to delay optical feedback [4]. Interesting dynamics have been predicted such as CS motion, which occurs when the product of the delay time and the feedback strength exceeds a critical value. The velocity of localized peaks has been shown to depend critically on the feedback phase. Semi analytical expressions have been derived for both the threshold of motion and its velocity [4].

The main goal of this project is to study experimentally the impact of optical feedback on the CS behaviour in broad-area VCSELs. To this aim, an experimental setup has been built-up at B-PHOT Lab at VUB. Broad area, oxide confined, InGaAs quantum well VCSEL emitting around 980nm are available and CSs have been experimentally observed when these lasers are subject to optical injection by a holding beam. This wavelength tunable, spatially homogeneous holding beam is provided by a high power edge emitting laser diode (LD) in an external cavity with diffraction grating. The detection part consists of optical spectrum analyzer and a Fabry-Perot interferometer to measure the VCSEL and LD spectra and infrared CCD camera to monitor the VCSEL near field pattern.

The second goal of this project is to compare the obtained experimental results with the theoretical predictions and to elaborate the existing theoretical models to account for the experimental peculiarities such as boundary effects, non-homogeneous carrier distribution, light polarization, etc

[1] N. Akhmediev and A. Ankiewicz, *Dissipative Solitons: From Optics to Biology and Medicine* (Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 2008).

[2] S. Barland, J. Tredicce, M. Brambilla, L. Lugiato, S. Balle, M. Giudici, T. Maggipinto, L. Spinelli, G. Tissoni, T. Knodl, M. Miller, R. Jager, "Cavity solitons as pixels in semiconductor microcavities", *Nature* 419, 699, 2002.

[3] E. Averlant, M. Tlidi, H. Thienpont, T. Ackemann, K. Panajotov, "Experimental observation of localized structures in medium size VCSELs", *Optics Express*, 22, 483 (2014),

[4] A. Pimenov, A. G. Vladimirov, S. V. Gurevich, K. Panajotov, G. Huyet, M. Tlidi, "Delayed feedback control of self-mobile cavity solitons", *Phys. Rev. A*, 88, 053830, 2013

## Localized structures in cavities with negative diffraction

Mustapha Tlidi (mtlidi@ulb.ac.be)  
02-650 59 05

Joint master thesis ULB and Lille

Responsibles: M. Tlidi (ULB) and E. Louvergneaux (Lille)

The dynamics of transverse patterns in passive Kerr cavities is drastically affected by the sign of the diffraction. Left-handed material is a way to achieve negative diffraction in an optical resonator [1,2]. However, such nonlinear materials are not yet available in the visible range. Using paraxial approximation it is possible to achieve resonators with negative optical length such that the diffraction can be assumed to be negative [3]. Such a cavity has been setup experimentally in Lille with the possibility to choose the sign of the diffraction. We propose here to study experimentally (PhLAM, Lille) and theoretically (ULB, Brussels) the dynamics of localized structures in passive Kerr cavities with negative diffraction.

[1] P. Kockaert, P. Tassin, G. Van der Sande, I. Veretennicoff, and M. Tlidi, Negative diffraction pattern dynamics in nonlinear cavities with left-handed materials, *PHYSICAL REVIEW A* 74, 033822, 2006.

[2] M. Tlidi, P. Kockaert, and L. Gelens, Dark localized structures in a cavity filled with a left-handed material, *PHYSICAL REVIEW A* 84, 013807 (2011)

[3] P. Kockaert, Paraxial approximation of a negative index slab by twin telescopes, *JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA B-OPTICAL PHYSICS* 26, 1994, 2009.

Étude de l'effet d'un couplage  
fortement non local de type  
Lorentzien en cavité à cristaux  
liquides: la stabilisation d'un  
nouveau type de faisceau localisé  
dont la taille est variable.

Mustapha Tlidi (mtlidi@ulb.ac.be)  
02-650 59 05

Responsables: M. Tlidi and P. Kokaert

La réponse de nombreux matériaux non linéaires comme les cristaux liquides (CL), les phorefractifs ou les métamatériaux est fortement non locale. En particulier, il a été démontré expérimentalement que l'indice de réfraction non local dans certaines cellules à CL peut être décrit par une lorentzienne [1,2,3]. Nous étudierons l'effet d'un couplage non local sur la formation d'un nouveau type de structure localisée dans des cavités à CL. La combinaison de cet effet avec la bistabilité peut conduire à la génération de faisceau localisé stable dont la taille est variable [3]. Ce travail est basé sur des prédictions théoriques récentes dans le cadre de l'équation de Nagumo avec un couplage nonlocal [4]. La cavité à CL est le système idéal pour l'étude et l'utilisation des structures localisées. La recherche est envisagée le long de deux voies principales:

- Dériver un modèle théorique et effectuer des simulations numériques pour l'étude des interactions entre fronts de commutation en présence d'un couplage fortement non local. Mesurer et analyser expérimentalement la réponse non locale des cellules à cristaux liquides et l'interaction entre les fronts de commutation. En effet, la structure optique que nous souhaitons observer nécessite de travailler avec une interférométrie externes permettant de stabiliser la cavité optique.
- Structures localisées et le phénomène de « clustering » de lumière résultant de l'interaction entre fronts et en présence d'un couplage fortement nonlocal. Leur existence, leur stabilité et leur dynamique seront étudiés expérimentalement et théoriquement, ainsi qu'une application éventuelle à savoir la génération de faisceaux dont la taille est variable sera examinée.

Le mécanisme proposé pour générer un nouveau type de structures localisées est à la fois simple et générique. Il est robuste à une et à deux dimensions spatiales et il pourrait être appliqué à d'autres systèmes hors équilibre avec un couplage fortement non local.

[1] X. Hutsebaut, C. Cambournac, M. Haelterman, J. Beeckman, and K. Neyts, JOSA B, 22, 1424 (2005)

[2] J.F. Henninot, J.F. Blach and M. Warenghem, J. Opt. A, 9, 20 (2007)

[3] A. Minovich, D.N. Neshev, A. Dreischuh, W.Krolikowski, and Y.S. Kivshar, Opt. Lett. 32, 1599 (2007).

[4] C. Fernandez-Oto, M. G. Clerc, D. Escaff, and M. Tlidi. Phys. Rev. Lett., 110, 174101 (2013).