

# Description du sujet de thèse :

## Théorie du couplage plasmons-solitons optiques

Unité de recherche : **Institut Fresnel, UMR CNRS 6133, équipe CLARTE**

Localisation : **Institut Fresnel, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, Campus de St Jérôme, Avenue Escadrille-Normandie Niémen, 13397 Marseille**

Directeurs de thèse : **Gilles Renversez gilles.renversez@fresnel.fr +33.4.91.28.89.85 ; André Nicolet andre.nicolet@fresnel.fr +33.4.91.28.87.73**

Intitulé français du sujet de thèse : **Théorie du couplage plasmons-solitons optiques**

Durée du contrat de thèse : **3 ans**

Connaissances et compétences requises : **électromagnétisme, photonique, phénomènes nonlinéaires, plasmonique, calcul numérique, programmation**

Sites web :

- [www.fresnel.fr](http://www.fresnel.fr)
- [www.fresnel.fr/perso/renversez](http://www.fresnel.fr/perso/renversez)
- [www.fresnel.fr/perso/nicolet](http://www.fresnel.fr/perso/nicolet)

## 1 Introduction

Depuis quelques années déjà, la fabrication et l'étude de structures métalliques nanométriques a conduit à l'émergence de la *plasmonique* en tant que sous-discipline de la photonique [1]. L'avantage principal des ondes mises en jeu (plasmons-polaritons de surface, acronyme SPP en anglais) dans ces structures est leur très fort confinement spatial au voisinage des interfaces métal/diélectrique. Plusieurs applications ont déjà été proposées ou réalisées [2]. Afin d'étendre les possibilités offertes par ces structures une voie est de considérer le couplage des plasmons avec des solitons optiques. Cette voie est très peu explorée à l'heure actuelle. En effet une seule publication mentionne ce type de couplage mais en se concentrant uniquement sur les propriétés du soliton [3]. La voie que nous proposons permettrait un contrôle complètement optique du nanodispositif plasmonique via l'intensité du champ se propageant dans la région nonlinéaire. Ces dispositifs hybrides permettraient aussi d'éliminer ou de réduire les limitations des structures plasmoniques conventionnelles, engendrées par les pertes importantes dues aux métaux.

## 2 Couplage plasmon-soliton optique

Un des problèmes importants rencontrés par les dispositifs utilisant des plasmons est l'excitation de ces plasmons pour de très petites échelles via l'utilisation de sources de lumière conventionnelles [2]. En effet un plasmon se propageant le long de l'interface métal-diélectrique possède un indice effectif supérieur à l'indice de réfraction du diélectrique concerné. On ne peut donc l'exciter qu'avec des ondes évanescentes générées par une réflexion totale interne ou via un réseau de diffraction adapté. Cependant un mécanisme d'excitation possible et non étudié jusqu'à maintenant dans le domaine de la plasmonique est le couplage des plasmons à des solitons optiques. Les solitons optiques sont étudiés depuis plusieurs dizaines d'années [4] et de nombreux résultats tant théoriques qu'expérimentaux sont disponibles [5]. En revanche leur couplage à des plasmons reste à étudier. C'est le but principal de ce projet de recherche. Du fait de la nature intrinsèquement nonlinéaire du soliton, le couplage considéré est lui-même nonlinéaire. On dispose donc de la puissance du soliton pour ajuster le couplage avec le plasmon. On peut voir ceci en terme d'indice effectif : celui du soliton optique dépend de son amplitude ce qui entraîne que l'accord de phase entre le plasmon et le soliton va dépendre de l'amplitude de ce dernier. On peut donc penser le couplage plasmon-soliton comme un anti-croisement de "modes" où le paramètre n'est plus la longueur d'onde mais l'amplitude du soliton.

## 3 Mise en œuvre

On peut envisager pour débiter la modélisation de deux types de structures. La première est un multicouche métal/diélectrique linéaire/diélectrique nonlinéaire. La seconde est un multicouche métal/diélectrique nonlinéaire.

Dans les deux cas, on considérera une nonlinéarité de type effet Kerr optique du fait de son très court temps de réponse et des possibilités de fabrication.

### 3.1 Résultats théoriques et méthodes numériques

approche phénoménologique du problème, nous comptons utiliser les résultats obtenus très récemment par Bliokh et ses collègues [6]. En effet notre collègue espagnol, le Professeur Albert Ferrando de l'Université de Valence en Espagne, nous a proposé d'adapter les résultats de Bliokh aux configurations envisagées dans ce projet de recherche. Nous disposerions ainsi d'une approche simplifiée du problème qui nous permettrait de guider des simulations numériques basées sur des modèles plus complets et plus proches des dispositifs envisagés. Cette thèse peut s'effectuer en cotutelle entre notre Université Paul Cézanne et une Université espagnole (Barcelone ou Valence).

Pour les aspects plus numériques, nous disposons déjà d'une méthode basée sur les éléments finis que nous avons développée lors de la thèse de Fabien Drouart [7] pour calculer certaines solutions nonlinéaires dans les guides d'onde. Grâce à elle, nous avons pu montrer que l'on pouvait généraliser le soliton de Townes en tenant compte de la structure nonlinéaire servant de guide [8]. Ces résultats publiés ne concernaient que le cas scalaire mais, dans la thèse, nous avons décrit la méthode et les résultats obtenus dans le cas vectoriel. Par ailleurs cette méthode peut tenir compte des pertes matériaux inhérentes aux métaux réels. Nous disposons donc d'une méthode vectorielle qui, moyennant quelques adaptations, va nous permettre de modéliser les structures métal-diélectrique nonlinéaire envisagées dans ce projet, au moins pour les principaux aspects.

Dans un second temps, nous développerons à partir de méthodes existantes (par exemple split-step Fourier utilisée dans la résolution de l'équation de Schrödinger nonlinéaire, Beam Propagation Method, Finite Difference-Time Domain) un ou des outils numériques permettant de simuler l'évolution temporelle des champs électromagnétiques dans les structures métal-diélectriques nonlinéaires envisagées. Nous avons une grande expertise dans le domaine de la modélisation électromagnétique [8, 9]. En effet, au cours des huit dernières années nous avons développé ou co-développé trois méthodes numériques pour étudier les structures photoniques : la méthode multipolaire, la méthode de factorisation rapide de Fourier appliquée à la recherche de modes, et une méthode de type éléments finis pour les configurations linéaires et étendue récemment au cas nonlinéaire (cf. le paragraphe précédent).

Dans un troisième temps, l'étude de l'impact de la structuration de la partie métallique pourrait être envisagée. Notre équipe de recherche, l'équipe CLARTE de l'Institut Fresnel, possède une solide expérience dans ce domaine.

## Références

- [1] A.V. Zayats, I.I. Smolyaninov, and A.A. Maradudin. Nano-optics of surface plasmon polaritons. *Physics reports*, 408 :131–314, 2005.
- [2] E. Ozbay. Plasmonics : Merging photonics and electronics at nanoscale dimensions. *Science*, 311 :189–193, 2006.
- [3] E. Feigenbaum and M. Orenstein. Plasmon-soliton. *Optics Lett.*, 32 :674, 2007.
- [4] R. Y. Chiao, E. Garmire, and C. H. Townes. Self-trapping of optical beams. *Physical Review Letters*, 13(15) :479–482, 1964.
- [5] Y. S. Kivshar and G. P. Agrawal. *Optical Solitons*. Academic Press, Amsterdam, 2003.
- [6] K.Y. Bliokh, Y.P. Bliokh, S. Savel'ev, and F. Nori. Unusual resonators : Plasmonics, metamaterials, and random media. *Rev. Modern Phys.*, 80 :1201–1213, 2008.
- [7] F. Drouart. *Nonlinéarité Kerr dans les fibres optiques microstructurées*. PhD thesis, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, 2008.
- [8] F. Drouart, G. Renversez, A. Nicolet, and C. Geuzaine. Spatial Kerr solitons in optical fibres of finite size cross section : beyond the Townes soliton. *J. Opt. A : Pure Appl. Opt.*, 10 :125101, 2008.
- [9] F. Zolla, G. Renversez, A. Nicolet, B. Kuhlmeiy, S. Guenneau, and D. Felbacq. *Foundations of Photonic Crystal Fibres*. Imperial College Press, London, 2005.