

Nom du candidat : Gaëtan LEVEQUE

JURY

Président de Jury

Garant de l'habilitation

A. AKJOUJ Professeur à l'Université de Lille1, IEMN

Rapporteurs

V. LAUDE Directeur de Recherche CNRS à l'Institut Femto-St à Besançon
Y. QUIQUEMPOIS Professeur à l'Université de Lille1
J.-C. WEEBER Professeur à l'Université de Bourgogne à Dijon

Membres

P.-M. ADAM Professeur à l'Université Technologique de Troyes
J. BELLESSA Professeur à l'Université Lyon1
T. MELIN Directeur de Recherche CNRS à l'Université de Lille1, IEMN

TITRE DE LA THESE

**Confinement et exaltation de la lumière dans des nanostructures
métalliques : simulations numériques et applications**

**Confinement and exaltation of light in metal nanostructures :
numerical simulations and applications**

RESUME

Le thème central de cette habilitation à diriger des recherches est la plasmonique, discipline au cœur du développement de nouveaux dispositifs basés sur le confinement et l'exaltation de la lumière par des structures métalliques de dimensions sub-longueur d'onde.

Dans une première partie, nous présentons les notions de base et les outils employés. Nous exposons séparément les caractéristiques des modes plasmons de surface propagatifs et localisés, puis introduisons la méthode de simulation numérique par le tenseur de Green, permettant de traiter des systèmes dans des environnements multicouches bi- et tri-dimensionnels, éventuellement périodiques, et en présentons trois exemples d'application.

La deuxième partie porte sur l'interaction entre une particule parallélépipédique ou cylindrique et un film métallique, en mettant en évidence les différents phénomènes physiques qui interviennent en fonction de la distance entre les deux systèmes. En partant de l'infini, la particule interagit avec le substrat métallique d'abord par les composantes radiatives du champ électromagnétique qu'elle diffuse, puis par ses composantes évanescentes lorsque la distance de séparation est de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres. La modification relative des couplages inter-particules et particule-film influence sensiblement les propriétés de conduction ou de localisation de la lumière dans des chaînes fines de particules. Nous examinons ensuite le cas où l'épaisseur de la couche séparatrice entre les particules et le film est de l'ordre de quelques nanomètres, pour lequel des modes particuliers résultent de l'excitation de plasmons propagatifs confinés sous la base de la particule, puis la situation où la couche séparatrice est constituée d'un ou plusieurs feuillets de graphène. L'interaction de ce matériau avec les nanoparticules se traduit par des modifications des positions et des largeurs des résonances plasmons localisées résultant du dopage du graphène par transfert de charges.

La dernière partie concerne l'étude de la dépendance des modes plasmons localisés à des perturbations de constantes diélectriques et de géométrie des nanoparticules et de leur environnement. Nous nous intéressons dans un premier temps à l'effet d'une variation de l'indice de réfraction du milieu environnant, exploitée pour la conception de biocapteurs, dont la sensibilité optique peut être améliorée par optimisation de la forme des particules mais également en utilisant des substrats multicouches comportant des films métalliques. Dans un deuxième temps, nous montrons comment les profils de résonances plasmons localisés sont modifiés dans un réseau périodique, notamment au voisinage d'anomalies de Rayleigh correspondant à la diffraction rasante de l'onde incidente. Cet effet est illustré expérimentalement et numériquement sur un système périodique de nanocylindres d'or, puis dans l'étude théorique d'un réseau de dimères. Enfin, nous étudions l'interaction entre des modes plasmons localisés et des déformations élastiques par le mécanisme opto-mécanique. Nous présentons la méthodologie employée tout d'abord sur une géométrie bidimensionnelle consistant en un nanofil d'or placé au centre d'une cavité d'un cristal phoxonique, puis nous étendons notre étude à un système tridimensionnel d'une particule métallique séparée d'un film métallique par une couche séparatrice d'épaisseur nanométrique.

The main subject of this habilitation is plasmonics, branch of nanooptics at the heart of the conception of new devices exploiting the confinement and the exaltation of light by metal objects of subwavelength dimensions.

The first part is devoted to the presentation of basic notions and methods employed in this work. We first expose separately the properties of localized and propagative surface plasmons, and we introduce the Green's tensor method for numerical simulation, allowing to investigate nanosystems embedded in two- or three-dimensional multilayered environments, isolated or periodical. Three examples are then given.

The second part concerns the interaction between a parallelepipedic or cylindrical particle interacting with a metal film, putting into evidence the different physical phenomena taking place depending on the distance between both systems. Starting from infinity, the particle interacts with the metal substrate first through radiative components of its scattered electromagnetic field, then through evanescent components when the particle-film distance is on the order of a few ten nanometers. The relative change in particle-particle and particle-film coupling affects notably the conduction or localization properties of a small chain of identical or distinct particles. We examine next the case where the spacer thickness is on the order of few nanometers, for which particular modes result from the confinement of propagative surface plasmons under the bottom of the particle, and next the situation where the spacer consists in one or several graphen monolayers. The interaction of that material with the metal nanoparticles induces changes in position and width of the resonance curves of localized plasmons resulting from charges-transfer-doping of graphen.

The last part concerns the study of the dependency of the localized plasmon modes on small perturbations of dielectric constants or shapes of the nanoparticles or their environment. We first focus on the effect of a variation in refractive index of the environment, exploited in the conception of bio-sensing devices, whose optical sensitivity can be increased by optimizing the shape of the nanoparticle or using multilayered substrate with metal films. Next we show how the resonance line-shape of localized plasmons are modified in a periodical array, mainly close to Rayleigh's anomalies corresponding to grazing diffraction of the illumination planewave. This effect is illustrated numerically and experimentally on a periodical system of gold nanocylinders, and in a theoretical study of an array of dimers. Finally, we investigate the interaction between localized plasmons modes and localized vibrations supported by the same particles, with the opto-mechanical mechanism. We first introduce the method on a two-dimensional geometry consisting in a gold nanowire located at the center of a defect in a phoxonic crystal, then we extend our study to a bi-dimensional system of a metal particles separated from a metal film by a spacer with thickness in the nanometer range.

We conclude our work presenting current investigations and several perspectives.

**Soutenance le 23 novembre 2017 à 10h00
Amphi du CERLA, Université de Lille1**