

Un logiciel pour modéliser les modes de la lumière dans les nano-résonateurs

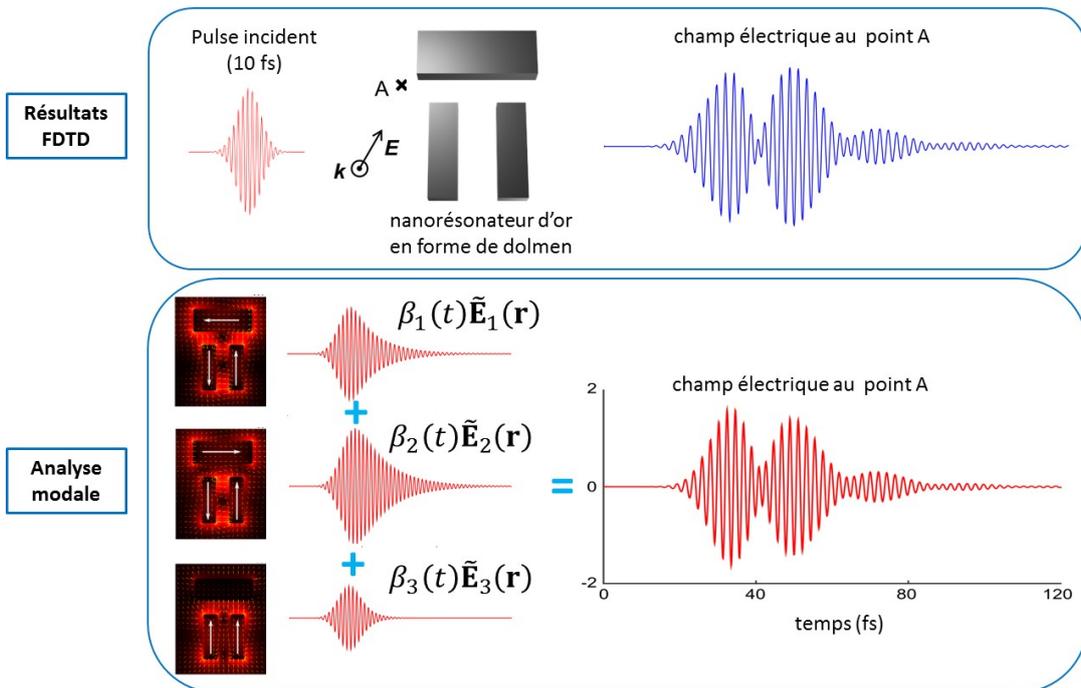
L'interaction lumière - matière spécifique aux résonateurs optiques joue un rôle essentiel dans de nombreux domaines tels que les biocapteurs, l'opto-mécanique ou les effets quantiques en cavité. Dans ce travail, un nouveau formalisme a été développé et un logiciel modélisant rigoureusement le comportement de la lumière dans les résonateurs est proposé.

Les résonateurs optiques sont des objets dans lesquels la lumière peut être confinée et exaltée en excitant à certaines fréquences des modes qui leur sont caractéristiques (résonances). Les modes sont décrits par des équations qui couplent les champs électrique et magnétique de l'onde lumineuse avec la réponse à l'excitation par ces champs du matériau constitutif du résonateur, sous forme de polarisation de charges et de courants induits. L'analyse modale est la description de la réponse du résonateur sous la forme d'une décomposition sur les différents modes du résonateur. Mais, alors que l'analyse modale est couramment utilisée par exemple pour décrire la lumière guidée dans une fibre optique, elle est beaucoup plus délicate à maîtriser dans le cas d'un résonateur du fait que la lumière ne reste pas confinée et fuit dans l'espace ouvert autour du résonateur. Ce problème a été formellement résolu il y a quelques années seulement mais n'était applicable qu'à des cas simples. Dans ce travail, des physiciens du Laboratoire photonique, numérique, nanosciences (LP2N, CNRS/IOGS/Univ. Bordeaux) ont étendu les possibilités de l'analyse modale et ont développé un code numérique permettant de modéliser rigoureusement tout type de géométrie de résonateurs. Ils proposent un logiciel qui permet une analyse quantitative et qui a le double avantage de réduire considérablement le temps de calcul et de rendre transparente la physique du résonateur en révélant ses caractéristiques modales.

Les équations décrivant les champs dans le résonateur sont les équations de Maxwell dans lesquelles sont introduits les effets de polarisation et de courant induit. Ces effets sont décrits par les relations dites constitutives. Le point central du travail a consisté à proposer un nouveau système d'équations couplées qui dissocie les équations des champs et les relations constitutives et qui construit ainsi un espace dans lequel le problème est linéaire en fréquence. Ces équations, une fois résolues par la méthode des éléments finis, fournissent une nouvelle description complète des modes qui englobe les résonances d'onde (équations de Maxwell) et les résonances de matière (relations constitutives). La figure illustre le fait que, pour une excitation donnée, cette analyse modale permet d'obtenir, de façon simple et directe, les expressions analytiques des coefficients d'excitation des différents modes.

En revisitant le couplage entre la lumière et la matière dans les micro- et nano-résonateurs, ce travail devrait permettre de dépasser les limitations imposées par les méthodes actuellement utilisées pour concevoir et analyser les résonateurs de forme et matériaux constitutifs arbitraires. Il devient par exemple possible de comprendre la réponse temporelle de petits ensembles de nanoparticules métalliques (figure) ou de prévoir analytiquement l'impact des défauts de fabrication sur les performances des microcavités de haute qualité.





Réponse d'une nano-antenne plasmonique composée de trois nano-bâtonnets d'or à une impulsion dans le visible. Les battements (courbe bleue) calculés avec la méthode de référence, la FDTD (Finite-Difference-Time-Domain), sont reproduits fidèlement (courbe rouge) et expliqués comme la somme des contributions individuelles de 3 modes avec des coefficients d'excitation donnés par β_i . L'approche modale est dans ce cas 1000 fois plus rapide que la FDTD, mais surtout elle rend transparente l'origine physique du battement. © LP2N (CNRS/IOGS/Univ. Bordeaux)

Bibliographie

Rigorous modal analysis of plasmonic nanoresonators, W. Yan, R. Faggiani et P. Lalanne, Physical Review B, le 15 mai 2018. DOI: 10.1103/PhysRevB.97.205422

Contacts

Chercheur LP2N | Philippe Lalanne | philippe.lalanne@institutoptique.fr
Communication INP | inp.com@cnrs.fr