



Photo © Philippe Egea et Elie Nadal PROMES-CNRS

Stresser la lumière

Contraindre la lumière à des échelles sub-longueur d'onde

PROMES - François VERNAY et Hamid KACHKACHI, francois.vernay@univ-perp.fr
Financements : CNRS PEPS Défi InPhyNiTi 2016 Interfaces physiques Numérique et Théorique

Voilà donc plus de vingt ans que nous assistons à l'émergence des nanosciences et nanotechnologies. Celles-ci reposent sur le fait que les propriétés physiques des matériaux, à l'échelle macroscopique, sont bien souvent considérablement modifiées dès lors que nous considérons des parti-

cules dont les longueurs typiques sont de quelques milliardièmes de mètre (soit quelques nanomètres). Grâce aux progrès réalisés en synthèse de matériaux à ces échelles, dites nanométriques, les chimistes parviennent donc à contrôler certaines propriétés de la matière.

Qu'en est-il de la lumière : est-il possible d'en faire autant et de contrôler la lumière sur des dimensions de quelques dizaines de nanomètres ? Ce contrôle suscite un intérêt croissant ces dernières années car les applications qu'il recouvre sont variées, tant en biochimie qu'en conversion de l'énergie.

Profitant du savoir-faire acquis dans la synthèse de matériaux aux très petites échelles, et des connaissances que les physiciens ont développées concernant l'interaction lumière-matière, de nombreuses équipes de recherche tentent d'utiliser des nanostructures métalliques, ou des assemblées de nanoparticules, pour contrôler finement la lumière. L'intérêt pour l'utilisation de ces dernières réside dans le fait que lorsqu'un métal est soumis à une excitation lumineuse appropriée (de bonne fréquence), des oscillations collectives des électrons de conduction du métal peuvent être observées. Ces oscillations sont appelées plasmons et décrivent une excitation du gaz d'électrons d'un métal lorsque celui-ci interagit avec des particules de lumière, les photons. En faisant une analogie avec un jeu de

construction, le plasmon peut donc être vu comme la brique élémentaire de l'interaction lumière-matière, celle-là même qui nous permettra de bâtir un dispositif permettant de contrôler la lumière à l'échelle nanométrique.

Pour autant, ce contrôle demeure limité : cela reste un véritable défi pour les chercheurs que d'utiliser pleinement le potentiel des plasmons afin de développer la prochaine génération de cellules photovoltaïques. Dans ce contexte, il serait souhaitable de bénéficier de parties du spectre solaire sous-exploitées, ou de réaliser un contrôle spatial de la lumière. Mais, avant de pouvoir se tourner vers les applications, il est impératif de bien appréhender la physique fondamentale qui sous-tend ces phénomènes. De fait, si les propriétés

individuelles du plasmon, à l'échelle d'une nanoparticule isolée, sont bien comprises, ce n'est que récemment que les propriétés collectives sont étudiées dans des assemblées de nano-objets. Pour reprendre l'analogie du jeu de construction, nous comprenons les propriétés physiques d'une seule brique, mais nous n'avons pas encore la technique précise pour les assembler et former un édifice cohérent. L'enjeu est donc de comprendre le mécanisme et le rôle des interactions entre plasmons pour pouvoir tirer partie des effets collectifs.

Considérons un réseau composé de nano-objets en métal. Lorsque des photons viennent exciter la structure, des plasmons sont créés. Pris individuellement, chaque plasmon associé à un de ces nano-objets peut être calculé : dans le cas de géométries simples, à basse énergie, un plasmon correspond à la création d'un dipôle électrique centré sur le nano-objet. À l'échelle du réseau, l'interaction entre les plasmons créés sur chaque objet se traduit ainsi par une interaction entre dipôles. La forme particulière des interactions dipolaires fait que la géométrie du réseau est prépondérante : en agissant sur celle-ci, il est possible de contraindre l'orientation des dipôles.

Il reste à montrer que la contrainte sur l'orientation relative des plasmons au sein du réseau induit une contrainte sur la lumière diffusée par la structure, offrant ainsi un contrôle de la lumière et notamment de la position de points chauds, régions de l'espace où le champ électromagnétique est exalté. Nous voyons donc que ces nanostructures peuvent jouer un rôle essentiel pour concentrer et guider la lumière sur de très petites échelles. Cela permet d'augmenter l'absorption de l'énergie solaire et d'optimiser sa conversion par des dispositifs photovoltaïques.