



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Séance solennelle de l'Académie des sciences / 15 juin 2010
Réception des nouveaux Associés étrangers sous la coupole de l'Institut de France

Lumière, métaux et molécules
par **Thomas Ebbesen**

Je suis très honoré d'être parmi vous aujourd'hui. Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont soutenu dans cette assemblée dont les membres sont pour moi des exemples par la profondeur de leurs travaux et de leur réflexion scientifique.

Je ne serais pas devenu chercheur si je n'avais pu développer ma curiosité en jouant en toute liberté dans le jardin de ma jeunesse. Le confinement de l'école me fut d'autant plus difficile que je ne l'ai découvert, ainsi que la lettre A, qu'à l'âge de sept ans. J'ai eu la chance d'avoir eu des enseignants qui encourageaient la réflexion plutôt que l'accumulation de faits. Ainsi quand la curiosité m'a poussé dans de nouvelles directions scientifiques, j'étais suffisamment inculte pour ne pas rejeter des résultats en contradiction avec les vérités établies. J'ai été enrichi par un parcours qui, me menant d'un pays à l'autre ou d'une thématique de recherche à l'autre, a demandé un effort de réajustement constant. Être chercheur, c'est toujours apprendre...

Une des raisons de ma présence aujourd'hui devant vous est probablement liée à mes travaux sur l'interaction entre la lumière et les surfaces métalliques quand elles sont structurées à l'échelle nanométrique, en particulier lorsque elles sont percées par de tout petits trous. Dans ce cas, on peut observer une transmission extraordinaire à travers ces trous avec une intensité qui peut être de plusieurs ordres de grandeur plus grande que la somme de la transmission des trous mesurés séparément. La physique de ce phénomène est en grande partie liée à la formation d'ondes de surface générées par l'interaction entre l'onde lumineuse et les électrons libres du métal. Ces ondes, appelées plasmons de surface, donnent naissance à l'heure actuelle à toute une nouvelle optique fondée sur notre capacité de contrôler leurs propriétés simplement en sculptant les surfaces métalliques avec des conséquences aussi bien fondamentales qu'appliquées. La diffraction d'un trou, par exemple, a commencé d'être décrite de manière scientifique dès le 17^{ème} siècle et considérée comme bien comprise après plus de 300 ans d'études. Pourtant, il semble aujourd'hui que la diffraction de tout petits trous, de diamètre inférieur à la longueur d'onde, percés dans un film métallique n'a pas le comportement que prévoit la théorie classique, ce qui nous force à revisiter cette question fondamentale. Au niveau technologique, de simples trous dans des films métalliques permettent, entre autres choses, d'améliorer la sensibilité d'outils spectroscopiques classiques et de développer de nouvelles sondes. On peut aussi les utiliser pour créer des nouveaux composants optiques à l'échelle de la longueur d'onde de la lumière. Un des buts ultimes du

domaine de recherche sur les plasmons de surface est la création de circuits photoniques miniatures qui pourraient remplacer une partie des circuits électroniques actuels, trop gourmands en énergie. On prévoit en effet que les serveurs de la toile vont dans la décennie à venir consommer une fraction importante de l'énergie électrique mondiale. Il y a donc un besoin urgent d'une technologie de rupture.

Souvent les domaines scientifiques se renouvellent périodiquement par une combinaison de progrès technologiques et d'avancées dans notre compréhension des phénomènes en jeu. Ainsi j'ai l'honneur d'être précédé dans mes activités de recherches actuelles par d'illustres savants de Strasbourg comme Jonathan Zenneck, assistant de Braun (inventeur du tube cathodique) qui décrivit il y a 100 ans les ondes électromagnétiques à la surface de conducteurs dans le contexte de la télégraphie, et Hans Bethe qui montra théoriquement, au milieu du siècle dernier, qu'un trou plus petit que la longueur d'onde dans un écran opaque transmettrait très mal la lumière. Ce dernier n'avait pas pris en compte la possibilité de présence d'ondes de surface. Quelques années plus tard, un jeune doctorant américain, Rufus Ritchie, décrira les plasmons de surface comme une excitation collective des électrons à l'interface d'un métal, une notion qui sera d'abord reçue avec beaucoup de scepticisme avant d'engendrer un nouvel élan de recherche. De même, vis-à-vis de la théorie de Bethe, la transmission extraordinaire à travers des trous sub-longueurs d'onde a d'abord suscité l'incrédulité pendant plusieurs années avant de devenir une évidence.

Mais quel est lien avec la chimie ? C'est en lisant un article de deux éminents membres de cette Académie, Serge Haroche et Daniel Kleppner, qui expliquait comment les propriétés radiatives de molécules pouvaient être contrôlées en les plaçant dans des cavités métalliques (l'électrodynamique quantique de cavité) que je me suis dit que ce contrôle pourrait être très utile pour étudier des problèmes physico-chimiques de dynamiques moléculaires. À cette fin, j'ai fait fabriquer un réseau de tous petits trous dans un film métallique opaque dans lesquels j'allais placer les molécules. À ma grande surprise, le réseau de trous transmettait beaucoup plus de lumière que ne le prédisait la théorie de Bethe. J'ai ainsi été lancé sur cette nouvelle voie de l'optique des métaux nano-structurés, illustrant bien qu'un parcours scientifique se construit à chaque étape d'une nouvelle observation. Mais je n'ai pas oublié les molécules... Il se trouve que les réseaux de trous métalliques simplement badigeonnés de molécules permettent d'étudier un autre phénomène, le couplage fort entre molécules et plasmons de surface où de nouveaux états hybrides sont formés à travers un échange de photons. Phénomène bien connu en physique, le couplage fort ouvre beaucoup de perspectives pour la chimie en permettant de contrôler les propriétés moléculaires sans modification chimique, sujet qui passionne actuellement mon équipe.

Je ne serais pas ici sans l'inspiration de la nature de ma Norvège natale, de celle de plusieurs professeurs de ma jeunesse, Richard Schoonmaker et Norman Craig à Oberlin College aux États-Unis, et Michel Rouget et René Bensasson à Paris, sans l'échange scientifique avec de nombreux collègues à la société NEC au Japon et aux États-Unis, et avec ceux de mon équipe actuelle à Strasbourg, et je ne serais pas ici sans le soutien et la stimulation de Masako.