

voir l'invisible

Préface

Tout au cours de mes recherches, je me suis émerveillé devant la complexité de la matière et du monde qui nous entoure. Cette complexité qui nous stimule dans notre quête de savoir, de comprendre. C'est ce même émerveillement que j'ai ressenti à la lecture de ce livre : voir la complexité des connexions du cerveau, le cheminement « intelligent » des fourmis, la voracité des champignons mangeurs de polluants, etc.

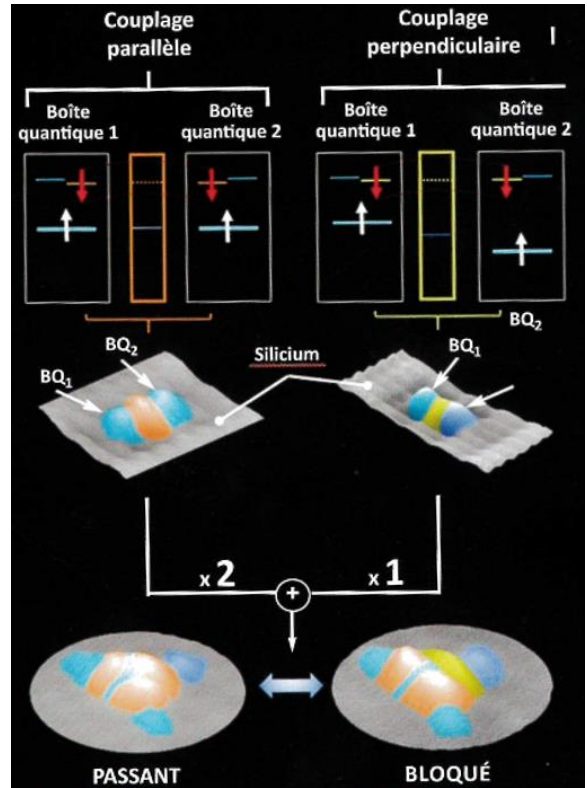
Aujourd'hui l'apport des nouvelles technologies, de l'électronique au calcul scientifique et à l'intelligence artificielle, permet de multiplier plus rapidement les expériences en laboratoire et donc de mieux voir, comprendre et agir. C'est ce que vous, lecteurs, allez découvrir : comment un cyclone est simulé à la surface d'une bulle de savon, comment les bactéries deviennent un sac « plastique », comment une machine « comprend » ce qu'elle voit, et bien d'autres choses encore.

L'originalité de ce livre est l'éventail des domaines scientifiques abordés : de l'archéologie à l'astronomie en passant par la chimie, la médecine, la physique des particules, l'intelligence artificielle.

Remerciers l'ensemble des scientifiques qui, avec enthousiasme et créativité, au travers d'une rédaction simple et accessible à tous, nous montrent comment la recherche contribue à aborder ou résoudre des problèmes de société qui nous concernent tous, comment l'émerveillement devient science et combien la science est merveilleuse !

Bonne lecture.

Jean-Marie Lehn
 Professeur au Collège de France
 Membre de l'Académie des sciences
 Prix Nobel de Chimie



Lorsque les boîtes quantiques s'en mêlent

Damien Riedel, Mayssa Yengui (ISMO - Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, Université Paris Saclay)
 Philippe Sonnet (IS2M - Institut de Science des Matériaux de Mulhouse, Université de Haute Alsace)
 Eric Duverger (FEMTO-ST, Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique, Université de Franche-Comté)

Le monde quantique est fascinant car il ne répond plus aux lois classiques de la physique. L'un des outils particulièrement pertinents dans ce domaine est la microscopie à effet tunnel avec laquelle les physiciens ou chimistes peuvent tester de nouveaux concepts ou dispositifs. Ici, il s'agit plus particulièrement d'utiliser l'interaction entre boîtes quantiques disposées de manière précise afin de faire apparaître des propriétés inédites.

Une boîte quantique (BQ) est le plus souvent un objet de taille nanométrique formé d'un groupement d'atomes. Leurs propriétés, spécifiques à leurs petites tailles, ont un rôle similaire à celui d'un atome isolé. L'avantage de ce type de BQ par rapport à l'atome individuel réside dans le fait qu'une BQ est le plus souvent entourée d'une coquille et donc peu couplée à son environnement. Ainsi, les niveaux électroniques d'une BQ sont discrets et confinés, c'est-à-dire qu'ils sont délimités, c'est-à-dire qu'ils sont délimités, à une énergie bien précise, à l'inverse de ceux d'un solide qui sont étalés sur une bande d'énergie. Dans ce contexte, coupler électriquement des BQ entre elles afin de les exploiter comme des dispositifs fonctionnels relève d'un compromis entre le contrôle de leur taille et la maîtrise des interactions avec leur environnement, car il est en général difficile d'obtenir des boîtes quantiques formées d'un seul atome.

Les BQ sont ici représentées par des rectangles symbolisés par deux niveaux électroniques discrets

(lignes horizontales). L'image illustre deux types de paires de BQ couplées deux à deux. Suivant l'orientation de la paire de BQ (parallèle ou perpendiculaire) par rapport à un axe cristallographique de la surface du silicium, leur couplage est différent. La ligne bleue (symbolisant un niveau électronique) est peuplée par un électron (flèche verticale blanche). Le second niveau est alors partiellement peuplé (lignes oranges et bleues) par un autre boîtes quantiques (flèche verticale rouge). C'est ce dernier niveau, représenté par un rectangle orange ou jaune, qui est l'origine du couplage électronique. Il confère à la paire de BQ des propriétés électroniques inédites. Ce niveau électronique se délocalise pour se situer spatialement au

centre de la paire de BQ. Les BQ que nous avons utilisées sont formées d'un atome unique de silicium dont l'environnement est contrôlé grâce à la passivation (1) de cette surface. L'outil nous permettant de voir et d'agir sur ces structures est le microscope à effet tunnel. Il fournit une image topographique des nuages électroniques des atomes observés (voir l'invisible 2007). Sur ces images, les atomes de silicium utilisés comme BQ sont colorés en bleu et le microscope nous permet de détecter la zone de couplage. Celle-ci apparaît alors différemment suivant l'orientation de la paire de BQ (orange ou jaune).

Les images obtenues avec le microscope à effet tunnel indiquent que le couplage des BQ est intimement lié à leur interaction avec la surface du silicium. Ainsi, pour obtenir un dispositif utilisant les BQ, il est nécessaire de les faire interagir avec les atomes voisins de la surface. La surface intermédiaire se réorganise localement (zone orange ou jaune) en considérant la paire de BQ comme un défaut. En démontrant que cette réorganisation est anisotrope, nous avons pu étudier l'interaction de ces BQ dans diverses configurations.

Le microscope à effet tunnel permet de créer des motifs de paires de BQ ayant diverses géométries. En associant deux paires de BQ parallèles en interaction avec une paire perpendiculaire, nous avons créé un dispositif ayant des propriétés similaires à un transistor, composant de base de l'électronique, et dont la taille ne dépasse pas 1 nanomètre.

Le microscope permet d'injecter des charges électriques dans le dispositif. Lorsqu'une charge supplémentaire se stabilise dans le composant formé de 4 BQ, la fonction de transistor bascule réversiblement d'un état bloqué à un état passant.

(1) La passivation d'une surface consiste à la recouvrir d'une couche atomique pour qu'elle soit moins réactive.