

Le diamant, un matériau aux multiples facettes

Dossier coordonné par **Pascale Roubin**⁽¹⁾ (pascale.roubin@univ-amu.fr)
et **Jean-Marie Brom**⁽²⁾ (jean-marie.brom@iphc.cnrs.fr)

(1) Laboratoire de physique des interactions ioniques et moléculaires (PIIM, CNRS et Aix-Marseille Université),
Campus Saint-Jérôme, 13397 Marseille cedex 13

(2) Institut pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC, CNRS et Université de Strasbourg),
23 rue du Loess, 67037 Strasbourg cedex 2

Outil et bijou tout à la fois, symbole de pureté et de durabilité, le diamant est connu et utilisé depuis l'Antiquité pour ses propriétés optiques et mécaniques remarquables. Quelles sont-elles et à quelles propriétés atomiques renvoient-elles ? Quelles autres propriétés remarquables ont été découvertes et exploitées depuis ? Ce dossier a pour but de donner des éléments pour répondre à ces questions.

En contraste avec sa réputation de pierre éternelle, lorsqu'il est soumis à de fortes températures, le diamant a tendance à disparaître, et cette sensibilité à la chaleur intrigue fortement les savants du XVIII^e siècle, notamment Antoine Lavoisier, qui montrent que le diamant est composé de carbone, et uniquement de carbone, tout comme le graphite. Ce paradoxe, une même composition pour deux matériaux si différents, ne sera résolu qu'au XX^e siècle avec, d'une part, les expériences de diffraction des rayons X du laboratoire de William Henry et William Lawrence Bragg qui apportent des informations sur les symétries de l'organisation des atomes de carbone dans les deux matériaux et, d'autre part, les développements théoriques de Linus Pauling sur l'hybridation des orbitales atomiques, qui rendent compte de ces symétries. Les multiples propriétés du diamant, souvent qualifiées d'exceptionnelles, ont leur origine dans cette hybridation spécifique et la structure électronique qui est liée. C'est l'objet du premier article de ce dossier que de décrire le lien entre les propriétés structurales et électroniques du diamant et ses propriétés mécaniques et optiques, mais aussi électriques, thermiques et magnétiques.

Le diamant est une pierre précieuse, et rare. Le minerai naturel est extrait de mines de diamant dont la majorité provient du manteau terrestre, où règnent de fortes pressions (quelques GPa) et de hautes températures

(1000 – 1500°C). L'encadré 1 du premier article montre comment le diamant naturel peut servir de traceur pour la géologie. En raison de la rareté du minerai, du coût d'exploitation des mines, mais aussi de la grande variabilité des qualités du diamant naturel, incompatibles avec certaines applications, les recherches ont été actives à partir du milieu du XX^e siècle pour obtenir du diamant par voie de synthèse et contrôler ainsi sa composition et ses propriétés. Elles le sont toujours, que ce soit pour des applications à la joaillerie, à l'industrie, à la recherche appliquée ou à la recherche fondamentale. Les différentes méthodes de synthèse et leurs dérivées, avec leurs avantages et inconvénients, sont décrites dans le deuxième article de ce dossier.

La stabilité, la grande dureté mécanique, la transparence, la forte conductivité thermique, la faible conductivité électrique, la résistance aux radiations, l'inertie chimique, la biocompatibilité sont parmi les grandes propriétés du diamant. On peut y ajouter sa faculté de combiner certaines de ces propriétés avec de nouvelles, telles que la luminescence ou le magnétisme, grâce à l'existence de défauts cristallins ponctuels appelés centres colorés et dus à l'existence au sein du réseau cristallin de lacunes (absence d'un atome de carbone) et d'impuretés (présence d'un atome étranger). Ces impuretés, telles que l'azote, existent à l'état naturel mais, comme il est évoqué dans le deuxième article, sont également introduites intentionnellement dans les diamants synthétiques. Les caractéristiques du diamant semblent parfois se contredire : une grande stabilité malgré sa métastabilité intrinsèque du point de vue thermodynamique ; une grande dureté et une grande résistance à la compression alliée à une fragilité mécanique liée à sa faculté de clivage ; des qualités de pureté et transparence mais aussi des colorations multiples dues à

“

Une [...] extraordinaire variété de propriétés remarquables a conduit aux nombreuses utilisations du diamant

”



© Sébastien Merkel Université de Lille

Cellule haute pression à enclumes de diamant.

la présence d'impuretés ; un excellent isolant électrique et pourtant un excellent conducteur thermique ; un isolant électrique qui devient un semi-conducteur ou même un conducteur, en fonction du dopage en impuretés.

Les applications du diamant sont nombreuses et variées et elles exploitent souvent plusieurs de ses atouts. Outre les applications ancestrales que sont la joaillerie et les activités industrielles liées à la coupe, au forage, au meulage et au polissage des matériaux durs, on trouve des applications de hautes technologies avec la fabrication de détecteurs de particules, de fenêtres optiques pour les hautes puissances laser ou les rayons X, la fabrication de cellules haute pression à enclumes de diamant (voir figure ci-dessus), de détecteurs UV, ou le refroidissement de composants pour l'électronique de puissance. Cette application à l'électronique est détaillée dans l'encadré 2 du premier article alors que le quatrième article présente le principe des détecteurs utilisés en physique des particules, ainsi que les récents progrès de ces détecteurs, notamment dans le cadre d'applications médicales.

La grande stabilité de la structure du diamant est aussi une qualité de ses centres colorés qui rend leurs propriétés optiques et magnétiques particulièrement intéressantes pour les recherches liées aux *bits* quantiques et à la décohérence, avec des applications à l'information quantique ou aux capteurs quantiques. Le troisième article montre comment le diamant, dopé avec certains centres colorés (les centres NV), devient un capteur ultrasensible pour l'imagerie magnétique à l'échelle nanométrique. On peut également citer les qualités de biocompatibilité des nanoparticules de diamant, qui en font un vecteur pour l'imagerie *in vivo* de processus biologiques ou pour les traitements contre le cancer.

Ce dossier ne prétend pas être exhaustif sur les multiples facettes du diamant. Il s'agit plutôt de donner, avec quelques exemples, les principaux éléments pour cerner quelle extraordinaire variété de propriétés remarquables a conduit aux nombreuses utilisations du diamant et continue à inspirer de nouveaux développements scientifiques et technologiques. Les difficultés et les limites qui existent encore dans les applications du diamant, notamment en ce qui concerne la taille des échantillons ou le contrôle des défauts, sont également évoquées, montrant combien les recherches sur l'obtention de diamant synthétique, pur ou dopé, continuent de porter des enjeux majeurs. ■



- The Properties of Natural and Synthetic Diamond
J.E. Field. *Academic Press*, 1992
- Diamond: Electronic Properties and Applications
L.S. Pan & D.R. Kania. *Springer*, 1995
- Properties, Growth and Applications of Diamond
C. Claeys & E. Simoen. *INSPEC*, 2000
- Optical Properties of Diamond
A. Zaitsev. *Springer*, 2001
- Diamond Films Handbook
J. Asmussen & D. Reinhard. *CRC Press*, 2002
- Physics and Applications of CVD Diamond
S. Koizumi, C.E. Nebel & M. Nesladek. *Wiley-VCH*, 2008
- Power Electronics Devices Applications of Diamond Semiconductors
S. Koizumi, H. Umezawa, J. Pernot & M. Suzuki (eds.).
Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, 2018
- Diamond for Quantum Applications, Parts 1 & 2
H.-W. Becker & J. Meijer (dir.). *IOP Publishing*, 2020 & 2022