

thes un avantage sur leurs homologues du Crétacé, qu'est-ce qui l'a fait? Un certain nombre de paléontologues, dont je fais partie, ont avancé l'idée que des différences dans les habitudes de recherche de nourriture pourraient leur avoir conféré un avantage compétitif.

Moins spécialisés, donc plus adaptables

À l'appui de cette théorie, j'ai montré ces dernières années que les oiseaux modernes conservés peu après l'extinction massive, dans des roches vieilles de moins de 60 millions d'années, vivaient probablement pour la plupart dans des milieux humides : rivages, lacs, bords de cours d'eau, au large des océans, par exemple. Les oiseaux qui vivent dans de tels environnements aujourd'hui – les canards en font partie – sont pour la plupart des animaux généralistes, capables de tirer leur subsistance d'une grande variété d'aliments. Et les oiseaux semblables aux

canards constituent actuellement la seule lignée confirmée d'oiseaux modernes que nous ayons découverte au Crétacé.

Les groupes d'oiseaux du Crétacé qui n'ont pas survécu au désastre, en revanche, ont été découverts dans des roches qui se sont formées dans de nombreux types d'environnements différents – rivages, intérieurs des terres, déserts, forêts, etc. Cette diversité suggère que ces oiseaux archaïques s'étaient spécialisés afin de s'adapter à leurs niches. Ainsi, le succès des premiers oiseaux modernes serait peut-être simplement dû au fait qu'ils étaient moins spécialisés que les autres groupes.

Cette souplesse pourrait avoir rendu les Néornithes capables de s'adapter facilement aux conditions changeantes qui ont suivi l'impact de l'astéroïde. L'idée est séduisante, mais reste à démontrer. C'est uniquement en découvrant plus de fossiles, dans le sol ou dans les tiroirs des muséums, que nous pourrions comprendre comment les oiseaux modernes ont échappé à l'extinction et pris leur essor. ■

✓ BIBLIOGRAPHIE

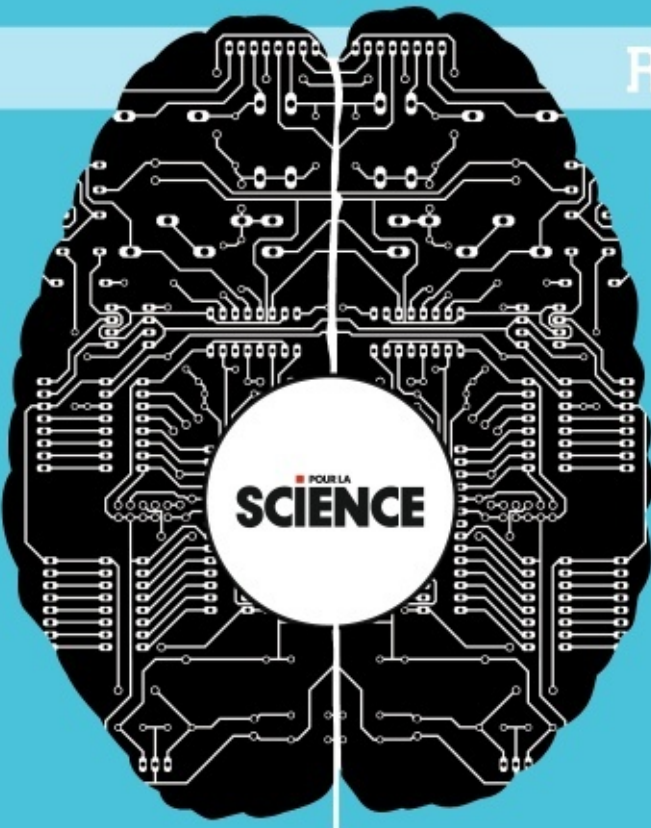
L. Chiappe et G. Dyke, *The Beginnings of Birds: Recent Discoveries, Ongoing Arguments and New Directions*, Indiana University Press, 2007.

G. Kaiser, *The Inner Bird: Anatomy and Evolution*, University of British Columbia Press, 2007.

J. Clarke *et al.*, *Definitive fossil evidence for the extant avian radiation in the Cretaceous*, *Nature*, vol. 433, pp. 305-308, 2005.

D. S. Robertson *et al.*, *Survival in the first hours of the Cenozoic*, *Geological Society of America Bulletin*, vol. 116(5-6), pp. 760-768, 2004.

E. N. Kurochkin *et al.*, *A new Presbyornithid bird (Aves, Anseriformes) from the late Cretaceous of Southern Mongolia*, *American Museum Novitates*, vol. 3866, pp. 1-12, 2002.



RESTEZ CONNECTÉ !

Restez en contact avec l'actualité scientifique :
Retrouvez *Pour la Science* partout sur le web.



Rejoignez-nous sur Facebook
<http://bit.ly/pls-facebook>



Suivez-nous sur Twitter
<http://twitter.com/PourlaScience>



Abonnez-vous à nos flux RSS
<http://bit.ly/pls-rss>



Recevez nos lettres d'information
<http://bit.ly/pls-newsletters>



Visitez notre site Internet
<http://www.pourlascience.fr>

Sur les traces du diamant bleu

François Farges

Les caractéristiques optiques et cristallographiques du plus gros diamant bleu connu – disparu au XVIII^e siècle – ont été reconstituées grâce à une réplique d'époque... en plomb. On en déduit jusqu'à la forme qu'il avait dans le manteau terrestre.

Paris, le 6 décembre 1668. Jean-Baptiste Tavernier, voyageur et commerçant français, rentre de son sixième voyage en Orient. Parmi les nombreux diamants qu'il rapporte de Perse et des Indes figure un diamant bleu de 115,28 carats provenant des alentours de Golconde, une ville du Sud-Est de l'Inde bâtie sur une colline granitique. Acquis par Louis XIV, le diamant bleu, retaillé, vient compléter sa parure de diamants, puis est choisi par Louis XV pour orner son emblème, la Toison d'or. Mais en 1792, le diamant disparaît, dérobé avec la Toison d'or et d'autres bijoux de la couronne. Tous les grands diamants sont vite retrouvés, sauf un : le diamant bleu de Louis XIV.

Vingt ans et deux jours après le vol, en 1812, un diamant bleu plus petit, le *Hope*, apparaît à Londres, soit exactement à la fin de la durée de prescription du délit. Sombre et peu brillant, ce diamant paraît avoir été taillé à la hâte ou sans grande maîtrise. Coïncidence ? Dès 1858, nombre d'auteurs ont évoqué un lien entre les deux diamants, mais aucun n'a pu en apporter la preuve formelle.

La découverte en 2007, dans les collections du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, d'un modèle en plomb du

« diamant bleu de la couronne », change la donne. À partir de cette réplique en plomb et à l'aide de simulations informatiques, nous avons, d'une part, prouvé la filiation entre les deux diamants et, d'autre part, reconstitué l'aspect du diamant avant sa disparition : le joyau de Louis XIV était-il réellement plus brillant que le *Hope* ? Le joaillier du Roi-Soleil avait-il tenu compte des derniers travaux scientifiques en optique lorsqu'il avait taillé le diamant de Tavernier ? Et quel était l'aspect du diamant rapporté par Tavernier ? Cette remontée dans le temps nous a conduits bien plus loin que nous ne l'imaginions, jusqu'à la cristallisation même du diamant dans le manteau terrestre, il y a plus de 1,2 milliard d'années.

Un diamant pour le Roi-Soleil

Le diamant bleu de Tavernier reste le plus gros diamant bleu jamais mis au jour (des informations circulent sur deux diamants bleus de 120 et 250 carats, mais leur existence n'est pas officielle). Bien que plus rares que les diamants incolores, les diamants de couleur (surtout les bleus, verts et rouges) n'ont été appréciés à leur juste valeur que récemment, sans doute à

cause de leur aspect moins brillant à l'état brut. Louis XIV, cependant, les a estimés à leur juste valeur. En 1669, le Roi-Soleil achète le diamant bleu à Tavernier et confie à Jean Pittan (vers 1617-1676), le joaillier de la couronne, sa retaille pour le mettre « au goût du jour » : le nouveau diamant devra briller de mille feux, même si ses dimensions doivent en pâtir. En 1673, le travail est achevé et payé 22 000 livres, une fortune pour l'époque (l'équivalent de 350 000 euros aujourd'hui, un poulet coûtant l'équivalent de 2 euros). Pour une telle somme, Pittan a dû proposer un dessin extraordinaire au roi, déjà engagé dans la rénovation du château de Versailles.

Louis XIV porte le diamant bleu en broche, serti dans un petit bâton en or qu'il accrochait probablement à son foulard de dentelle, aux côtés de sa parure de diamants composée de milliers de carats de pierres. Après sa mort, le diamant bleu est peu usité, éclipsé par le *Régent*, diamant incolore de 140,5 carats acquis en 1717 par le duc d'Orléans, régent sous Louis XV. Cette perte d'intérêt perdure jusqu'au moment où Louis XV décide d'orne son emblème, la Toison d'or, du diamant bleu. Cet emblème aux couleurs imposantes est considéré par de nombreux joailliers comme le



F. Farges / MHN

L'ESSENTIEL

- ✓ En 1792, le diamant bleu de la couronne de France disparaît, volé.
- ✓ En 2007, une réplique en plomb du diamant est retrouvée. Sa modélisation prouve que le *Hope*, un diamant anglais, n'est autre que le diamant bleu retaillé.
- ✓ Elle montre aussi que la taille du diamant était un chef-d'œuvre optique.
- ✓ En combinant les données historiques, le profil colorimétrique du *Hope* et les lois de la cristallographie, on remonte à la forme du diamant bleu natif.

chef-d'œuvre absolu de la joaillerie française du XVIII^e siècle. Au grand diamant bleu se joint un autre diamant bleu, de couleur plus claire et d'environ 33 carats ainsi qu'un spinelle rouge, retaillé en forme de dragon d'environ 107 carats, la *Côte de Bretagne*. Plus de 478 diamants complètent le bijou d'environ 16 centimètres de haut, que le roi portait durant certaines cérémonies officielles (voir la figure 5).

En 1792, ce bijou extraordinaire est dérobé avec d'autres bijoux de la couronne et démonté, probablement à Nantes. Son voleur, le cadet Guillot Lordonner, exporte sans doute les pierres à Londres. La *Côte de Bretagne* reparait dès 1797 à Hambourg, en provenance de Londres. Elle est aujourd'hui au musée du Louvre à Paris et demeure le seul vestige conservé du bijou. Le grand diamant bleu a disparu à tout jamais.

Telle est l'histoire extravagante du plus gros diamant bleu trouvé et dont, en 2005 encore, aucun modèle n'était connu, hormis une gravure publiée en 1889 par l'héritier des joailliers de la couronne, Germain Bapst, dont la famille avait conservé une empreinte du diamant (empreinte qui demeure introuvable). Mais à partir de 2006, tout se précipite. Une gravure du diamant bleu fait surface, issue d'une collection privée : datant

de 1749, cette gravure polychrome de la Toison d'or de Louis XV, avec le diamant bleu en son centre, corrobore celle de Bapst. Et en 2007, coup de théâtre au Muséum national d'histoire naturelle : au sein des collections de minéralogie et de gemmologie, nous avons retrouvé un modèle en plomb d'un diamant remarquable de par sa forme et la géométrie de ses facettes.

Renaissance virtuelle

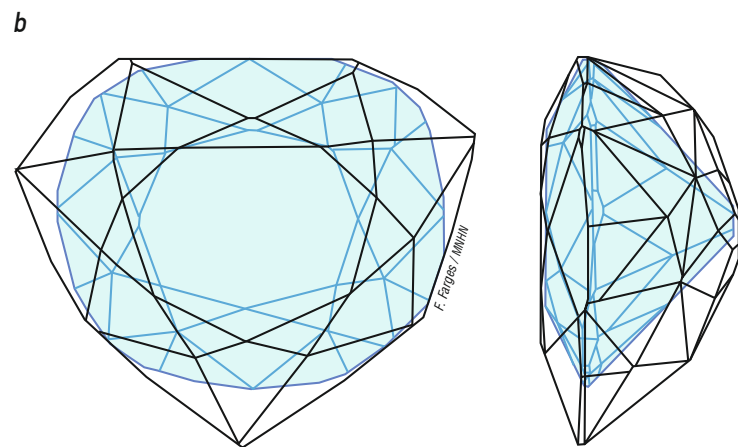
La comparaison de ce plomb avec les deux gravures montre qu'il s'agit d'un modèle du diamant bleu de la couronne : ses dimensions ($30,38 \times 25,48 \times 12,88$ millimètres) sont similaires à celles du diamant bleu de la couronne publiées avant la Révolution ($31,00 \times 24,81 \times 12,78$ millimètres), et son poids équivaut à 68,30 carats de diamant, ce qui est légèrement inférieur, mais néanmoins parfaitement compatible, avec les mesures rapportées en 1787 (69,03 carats) et en 1791 (68,97 carats) sur le diamant bleu. Le modèle en plomb révèle en outre une forme exceptionnelle : un diamant triangulaire taillé en sept secteurs. Cette taille est d'une très grande complexité : essayez de couper une pizza triangulaire en sept parts égales du premier coup ! Les facettes à l'ar-

rière forment une rose de sept pétales autour d'une facette centrale, nommée « rose de Paris », grande invention technique de Jean Pittan pour ce diamant bleu.

En collaboration avec la Société *Diamond Matrix Technologies* d'Anvers, nous avons reconstitué le modèle en plomb en trois dimensions sur ordinateur, grâce à un scanner laser adapté à la retaille des diamants bruts (voir les figures 1 et 2). Notre premier objectif a été de comparer cette reconstitution du diamant bleu au diamant *Hope*, ce diamant apparu à Londres en 1812 et soupçonné d'être le diamant bleu retaillé. Jusqu'alors, personne n'avait eu la preuve formelle de sa véritable identité, car il manquait un modèle en trois dimensions du diamant bleu de la couronne.

1. SIMULATION DU DIAMANT BLEU

tel que le Roi-Soleil le portait : serti avec des feuilles d'or sur la face arrière et enchâssé dans une coquille d'or. Cette technique typique de cette époque rehausse l'éclat de la pierre. Le diamant était taillé de façon telle que seules les huit facettes centrales (situées à l'arrière du diamant) laissaient passer la couleur dorée, formant un soleil d'or au milieu d'un univers étoilé.



2. POUR SAVOIR SI LE DIAMANT HOPE ÉTAIT BIEN LE DIAMANT BLEU DISPARU, l'auteur et ses collègues ont analysé la forme du diamant Hope (a, à droite) et celle de la réplique en plomb du diamant bleu (a, à gauche) à l'aide d'un scanner laser adapté pour la retaille des diamants (c). Le traitement informatique des données obtenues a permis de modéliser ces diamants en trois dimensions. Non seulement les deux diamants s'encastrent parfaitement, mais la légère asymétrie du diamant Hope (en bleu) semble liée à la forme triangulaire du diamant bleu de la couronne (b).

En 2005, le Muséum national d'histoire naturelle américain, administré par la *Smithsonian Institution*, à Washington, avait certes effectué une première tentative, mais il s'était trouvé limité par le peu de documents alors disponibles. Surtout, le document principal de travail – la gravure de 1889 – était fort imprécis : le diamant y était représenté à une plus petite échelle (d'après les dimensions mesurées en 1787 sur le vrai diamant) et seulement sur ses faces inférieure et supérieure. Il manquait une vue de côté du diamant, dans son épaisseur. Les chercheurs de la *Smithsonian Institution* avaient donc dû extrapoler pour obtenir un modèle en trois dimensions ; ce dernier leur avait servi de base à la taille d'une première réplique du diamant bleu en zircon bleu (oxyde de zirconium), un cristal qui imite les feux du diamant, mais pas sa couleur.

Le résultat était peu convaincant : d'après cette reconstitution, le diamant bleu de la couronne aurait été particulièrement foncé et peu brillant, en d'autres termes aussi mal taillé que le Hope, dont la lumière fuit par les côtés (voir l'encadré page 58). Nos simulations ont clarifié la situation : en comparant la reconstitution numérique en trois dimensions du diamant bleu de la couronne à celle du Hope, nous avons montré que ce dernier est parfaitement contenu dans le diamant bleu de la couronne dans toutes les directions de l'espace (voir la figure 2). L'asymétrie même du Hope, qui lui confère son allure ovale, semble héritée de la forme triangulaire du diamant royal français.

Dans un deuxième temps, nous avons essayé de déterminer à quoi ressemblait le diamant bleu de Louis XIV. Était-il peu brillant, peu optimisé, peu travaillé, comme le suggère l'étude américaine ? En outre, quelle était sa couleur ? L'intensité du bleu dépend de la façon dont le diamant a été taillé. En 1787, un certain Brisson évoquait une apparence bleu saphir, mais le minéralogiste britannique John Mawe le décrivait en 1823 d'un bleu clair.

Nous avons chargé la simulation tridimensionnelle du modèle en plomb dans un logiciel qui recrée en trois dimensions les feux du diamant d'après les lois de la réfraction et de la dispersion optiques. Le logiciel calcule aussi le trajet des faisceaux lumineux dans la gemme et leur dispersion.

Par défaut, le logiciel produit des simulations de diamants incolores ; pour obtenir la couleur du diamant bleu de la

couronne, nous avons donc appliqué à notre simulation le «profil de couleur» du diamant *Hope*, c'est-à-dire son spectre d'absorption de la lumière en fonction de sa longueur d'onde, fourni par Jeffrey Post, conservateur à la *Smithsonian Institution*. Les résultats ont créé la surprise : d'une part, le diamant brillait de «mille feux», ce qui signifiait que la réplique en plomb était une copie fidèle d'un diamant optiquement optimisé et non une copie de mémoire ou à distance. D'autre part, le diamant était d'un bleu saphir brillant, comme l'indiquait Brisson en 1787. Comment Mawé a-t-il pu y voir un joyau «bleu ciel»? La question reste ouverte, car les lois de l'optique n'expliquent pas cette couleur.

Taillé selon les lois de l'optique

La simulation prouve aussi que Pittan avait créé un diamant très brillant. Avait-il intégré, dans sa taille, les découvertes majeures de l'optique de Descartes, Snell, Fermat et Newton? Sans doute, car la probabilité d'obtenir une pierre très lumineuse est faible, les angles devant être parfaitement calculés pour obtenir l'éclat maximum. Ainsi, il faut concevoir en trois dimensions une centaine d'angles cohérents entre eux pour obtenir la pierre la plus lumineuse qui soit. L'étude de la technicité de la taille du diamant confirme qu'il n'a pu être le fruit que de calculs précis issus des lois de l'optique.

D'abord, le diamant présente une double symétrie impaire : non seulement il a une forme triangulaire (symétrie d'ordre 3), rare à l'époque, mais la rose à sept pétales formée par ses facettes à l'arrière lui confère une symétrie d'ordre 7. À l'époque (les diamants *Mazarin*, le *Régent*, etc.) et aujourd'hui encore, on taille de préférence les diamants selon une symétrie paire d'ordre 4, c'est-à-dire avec une section carrée ou rectangulaire, beaucoup plus efficace pour rendre la brillance, car le trajet des rayons lumineux dans le diamant est symétrique par rapport à des plans contenant l'axe du diamant. La symétrie impaire, en revanche, ne favorise pas une réflexion symétrique de la lumière dans le diamant et il faut des calculs complexes pour s'assurer que la lumière ne s'échappe pas d'un corps présentant cette géométrie.

Ensuite, la simulation infographique du modèle en plomb du diamant de Pittan montre que la brillance du diamant était

bien plus importante qu'on ne le pensait. En outre, la taille effectuée par Pittan n'est pas très éloignée des proportions recommandées aujourd'hui pour obtenir un diamant brillant, fondées sur de nombreuses études sur ordinateur. Par exemple, les lapidaires ont récemment recommandé que la dimension de la grande facette en avant (la table) soit comprise entre 53 et 59 pour cent de la largeur du diamant, avec une moyenne de 56 pour cent. La valeur pour le diamant bleu de Pittan est 55 pour cent. L'épaisseur de la couronne de facettes qui entoure la facette supérieure (trois millimètres, soit dix pour cent de la largeur de la gemme) est légèrement inférieure aux critères actuels (14-19 pour cent, soit 4,2 millimètres pour cette gemme), mais l'erreur n'excède pas quatre pour cent – une précision exceptionnelle pour l'époque.

Ainsi, Pittan a trouvé le compromis qui lui permettait d'augmenter la brillance tout en profitant au maximum du diamant brut ramené par Tavernier et des découvertes récentes de l'optique. En d'autres termes, soit Pittan connaissait ces découvertes, soit il les appliqua de façon empirique en s'inspirant d'abaques publiées à partir de ces lois; dans les milieux protestants cultivés dont il faisait partie, on discutait souvent des dernières découvertes scientifiques en provenance d'Europe du Nord, dont probablement les travaux de Descartes, Snell et Newton.

La double symétrie impaire constitue une innovation artistique majeure, mais complexe, voire dangereuse : on ne peut pas revenir en arrière si le diamant a été mal taillé... surtout quand il s'agit du plus gros diamant du roi de France. Pourquoi Pittan s'est-il ainsi compliqué la tâche?

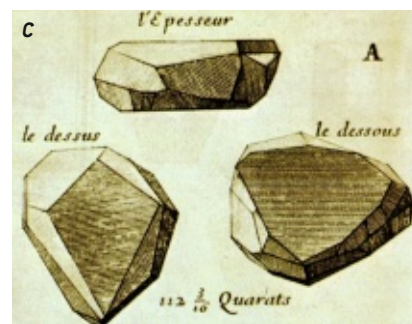
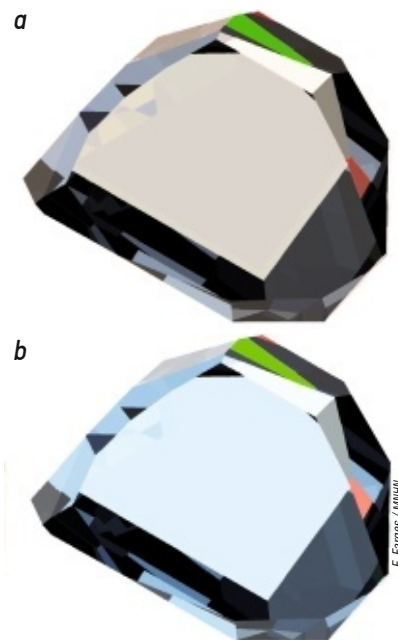
Le joaillier semble avoir voulu ajouter une symbolique à son grand œuvre. Le diamant de Louis XIV était serti dans un bâton d'or. Il n'était pas rare que l'on recouvre l'arrière d'un diamant d'une feuille d'or ou d'argent pour rehausser l'éclat de la gemme. Dans le cas du diamant bleu, seule la rose centrale laisse passer la couleur dorée, car les angles de ses facettes sont inférieurs à l'angle critique du diamant, et les rayons de lumière qui arrivent sur elles – et donc sur l'or – reviennent vers l'observateur (voir la figure 1 et l'encadré page 58). Dans le bâton d'or, la rose centrale devenait donc un soleil doré à sept branches, entouré de zones riches en lumière et couleurs (points vifs de lumière)

L'AUTEUR



François FARGES est professeur au Muséum national d'histoire naturelle (Paris) et à l'Université Stanford (États-Unis).

Il est chargé de la conservation des collections nationales de minéralogie et de gemmologie, et membre honoraire de l'Institut universitaire de France.



3. LE DIAMANT DE TAVERNIER a été reconstitué numériquement (a et b, ici sur fond blanc) à l'aide de la description du voyageur (c) et du profil colorimétrique du diamant *Hope*. Son aspect dépend de l'éclairage : une chandelle lui donne une couleur grisée (a), tandis que la lumière du soleil le rend plus bleu (b).

et de zones sombres, fruits des interférences dues à la diffusion multiple de la lumière dans le diamant. De là à voir dans ce diamant la représentation du soleil royal entouré des sept planètes connues à l'époque (Mercure, Vénus, la Terre, la Lune, Jupiter et Saturne) au centre d'un Univers parsemé d'étoiles, il n'y a qu'un pas. Pittan aurait-il symbolisé la suprématie du Roi-Soleil ? Cela expliquerait le prix exorbitant de son travail.

Le catalogue du Muséum national d'histoire naturelle allait révéler un troisième secret. Le modèle en plomb y est daté de 1850 et répertorié en tant que « modèle d'un diamant remarquable par sa limpidité, appartenant à Mr Hoppe de Londres ». Le propriétaire en question ne peut être que Henry Philip Hope (1774-1839), premier propriétaire officiel du diamant bleu Hope. Le donateur est Charles Achard, un lapidaire parisien très connu dans les an-

nées 1770-1850, dont un des clients était... Hope, selon d'autres archives du Muséum.

Pourquoi un lapidaire qui n'a pas pu manipuler le diamant royal possédait-il néanmoins un moulage, des années après le vol ? Aucun doute n'est possible : Achard savait que Hope avait possédé le diamant bleu de la couronne dérobé non retaillé. Le catalogue du Muséum mentionne au présent cette appartenance, ce qui confirme que l'information – bien que donnée au

DE LA TAILLE DU DIAMANT À SA BRILLANCE

Lorsqu'en 1669, à la demande de Louis XIV, le joaillier Pittan se lance dans la taille du diamant bleu, René Descartes et le physicien néerlandais Willebrord Snell ont énoncé, dans les années 1620-1630, les lois de la réfraction de la lumière et, en 1662, Pierre Fermat a déterminé la raison de la réfraction ; Isaac Newton, quant à lui, vient d'observer, sur les traces du jésuite Francesco Grimaldi, la décomposition de la lumière blanche dans un prisme en faisceaux de couleurs différentes. Il semble que Pittan se soit inspiré – sans doute *via* des abaques – de ces tout derniers résultats de l'optique pour tailler le diamant.

Fermat a montré que la lumière se propage dans les corps par le chemin non pas le plus direct, mais le plus rapide. Cela explique pourquoi la lumière peut dévier en passant d'un milieu à un autre. Ce phénomène – la réfraction – est plus ou moins marqué selon l'indice des milieux entrant et sortant : plus l'indice du milieu sortant est grand devant celui du milieu entrant, plus la réfraction sera importante (loi de Snell-Descartes). C'est ce qui se passe pour un diamant dans l'air : l'indice de l'air est de 1 alors que celui du diamant est d'environ 2,42 en moyenne.

Une conséquence de cette loi est que, quel que soit l'angle d'inci-

dence de la lumière sur le diamant, l'angle du rayon réfracté ne dépasse pas une valeur critique (pour le diamant, 26° par rapport à la verticale de la facette éclairée). De même, si la lumière traversant le diamant arrive sur une facette avec un angle supérieur à la valeur critique, elle est réfléchie dans le diamant, comme si la facette était un miroir ; lorsque ce phénomène – nommé réflexion totale – se répète après la première réfraction, la lumière ne s'échappe pas du diamant. À l'opposé, si l'angle d'incidence est inférieur à l'angle critique, la lumière sort du diamant et repasse dans l'air. Ainsi, les facettes d'un diamant taillé sont combinées de telle manière que la lumière soit piégée dans le diamant et ne puisse s'échapper que vers les observateurs. Par conséquent, le diamant apparaîtra très lumineux.

Le diamant disperse en outre la lumière, car son indice varie de 2,451 dans le bleu à 2,407 dans le rouge. Ainsi, la lumière sera fortement décomposée (effet de prisme ou d'arc-en-ciel) dans le diamant, créant les fameux « feux du diamant ».

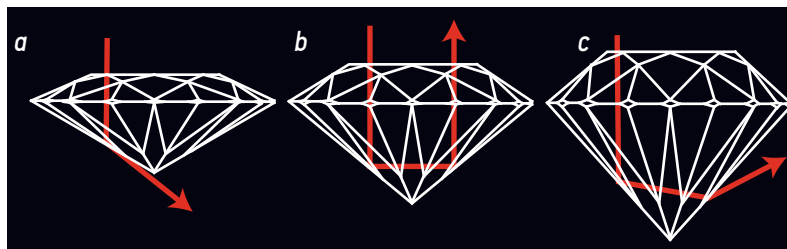
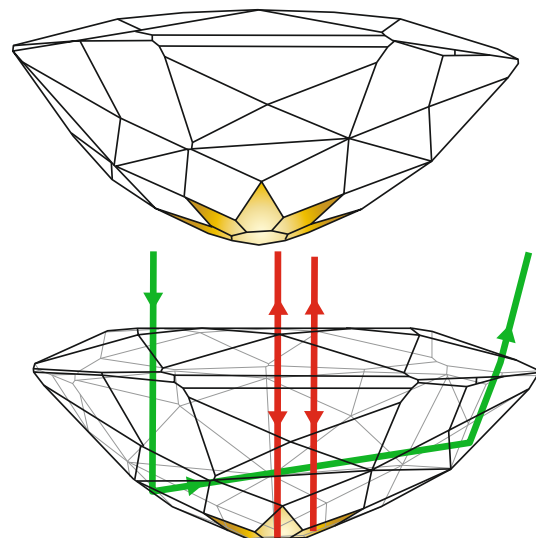
Grâce à ces propriétés physiques, le diamant fut vite l'apanage des grands, dans la mesure où il était taillé. De fait, sans l'intervention de l'homme et de la science, on ne peut percevoir l'incroyable propriété optique qui caractérise le diamant : les

angles entre facettes qui confèrent une forte brillance au diamant ne sont pas ceux dont la nature privilégie la croissance.

Les Indiens, en particulier les dynasties mogholes, avaient l'habitude de faire polir les facettes des diamants bruts pour les rendre plus brillants. Mais ces tailles étaient empiriques et l'on voulait garder les gemmes aussi grandes que possible, à

la mesure du prestige des héritiers du farouche Tamerlan (XIV^e-XVIII^e siècles). L'Occident a adopté une approche bien différente. Dès le XVI^e siècle, on a taillé les diamants de façon à augmenter leur éclat, quitte à perdre de la matière. Que préférer ? Le plus gros ou le plus brillant, sachant que l'on ne peut avoir les deux ? La question demeure le dilemme quotidien de nombreux lapidaires.

Le diamant bleu était taillé de façon telle que tous les rayons arrivant sur la rose centrale (*en jaune*) perpendiculairement à la face supérieure étaient réfléchis selon le même chemin par la feuille d'or qui recouvrait la rose (*en rouge*), tandis qu'hors de la rose, les rayons ressortaient par une face supérieure sans rencontrer l'or (*en vert*). C'est pourquoi, d'une part, l'aspect doré était concentré dans la rose et, d'autre part, le diamant devait briller remarquablement.



Influence de la taille sur la capture et le renvoi de la lumière : si le diamant est trop plat, la lumière le frappant perpendiculairement à la face supérieure le traverse sans se réfléchir (a) ; s'il est trop profond, elle se réfléchit, mais sort par une face latérale (c). À la taille idéale, la lumière sort par la face supérieure, conférant son éclat maximal au diamant (b).

F. Farges / MHN

Muséum en 1850 – est antérieure à 1812, date d'apparition du diamant Hope.

L'étiquette signale que le diamant est « remarquable par sa limpidité », comme si Achard avait vu la gemme dans la collection de Hope. En fait, tout ce petit monde se connaissait puisque René-Just Haüy, conservateur de la collection de minéralogie au Muséum jusqu'en 1822, remercie non seulement « Mr Achard » dans son traité sur les pierres précieuses de 1817, mais aussi Hope pour sa lecture de l'ouvrage et... ses donations de gemmes au Muséum.

En 1850, date où le modèle en plomb a été répertorié au Muséum, Hope était décédé depuis 11 ans et ses neveux finissaient de se disputer son héritage, dont le Hope. Dans les actes du procès « Hope contre Hope », on s'aperçoit que l'oncle restait discret sur l'origine de ses gemmes, officiellement pour ne pas trop payer de taxes...

À quoi ressemblait le diamant de Tavernier ?

L'énigme du diamant Hope résolue, nous nous sommes intéressés au diamant tel qu'il avait été trouvé par Tavernier : quel était son aspect ? Pourquoi les Indomogholis avaient-ils cédé ce joyau ? S'agissait-il d'un diamant entier ou d'une fraction d'un plus gros cristal de diamant ? En reconstituant numériquement le diamant de Tavernier en trois dimensions et en recherchant les caractéristiques cristallographiques compatibles avec cette forme, non seulement nous avons répondu à ces questions, mais nous sommes remontés jusqu'à l'histoire de la croissance du diamant bleu dans le manteau terrestre.

Pour modéliser le diamant bleu de Tavernier, nous avons combiné les informations fournies par celui-ci dans son livre de voyage, notamment la gravure présentant le diamant sous trois angles, et les données spectroscopiques du diamant Hope. Nous avons ainsi obtenu un diamant d'un bleu moyen, dont l'apparence variait beaucoup en fonction de la source d'éclairage (simulée en appliquant le spectre lumineux correspondant) : il paraissait beaucoup plus bleu à la lumière solaire – qu'utilisait Tavernier pour observer les gemmes – qu'à la chandelle – source avec laquelle les Indiens regardaient les diamants (voir la figure 3). Ces différences esthétiques pourraient expliquer pourquoi les Indiens n'ont pas perçu le potentiel de la pierre et l'ont vendue à Tavernier.

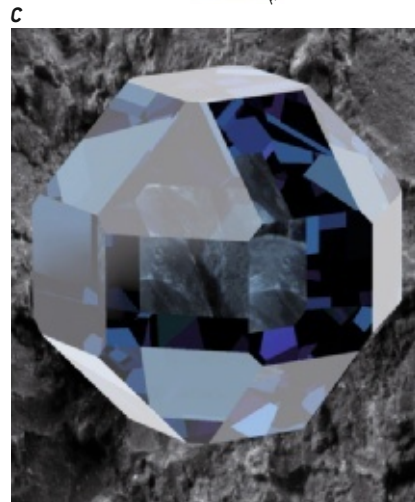
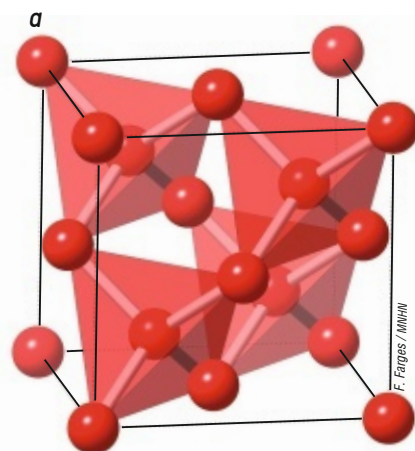
La modélisation de la croissance du diamant est quant à elle fondée sur les caractéristiques cristallographiques des diamants en général, et des diamants bleus en particulier. Le diamant est un minéral de la famille des « natifs », c'est-à-dire composé essentiellement d'éléments chimiques purs, à l'instar de l'or ou du soufre. Incolore, le diamant est composé de carbone, comme Lavoisier l'a montré en 1793. Toutefois, des impuretés d'azote et de bore peuvent lui donner diverses couleurs (jaune, vert, rouge, bleu, violet, orange, brun, noir...).

Selon les gemmologues, la couleur bleue proviendrait ainsi d'impuretés de bore. À part ces traces de bore, les diamants des Indes sont souvent d'une très grande clarté et pureté : leur « eau » est remarquablement claire, c'est-à-dire qu'ils contiennent très peu d'impuretés (ou « craudaux »). Les diamants de Golconde sont tellement typiques et uniques, même de nos jours, que l'on décrit *de facto* certains diamants très purs comme « de Golconde » ou « de type Golconde ».

Le diamant cristallise dans le système cubique : la maille du cristal – son élément de base – forme un cube dont chaque sommet et le centre de chaque face sont occupés par un atome de carbone. Chaque cube est en outre constitué de quatre tétraèdres, chacun formé par quatre atomes de carbone (voir la figure 4). Par agrégation de nouveaux atomes de carbone autour du cube constitué par les premières mailles cristallisées, le diamant forme généralement un octaèdre : à chaque sommet du cube initial, des faces apparaissent et se construisent aux dépens de celles du cube, jusqu'à se rejoindre pour former un octaèdre.

Cet agencement compact des atomes de carbone confère au diamant une dureté exceptionnelle – la plus élevée des minéraux naturels. Comment de tels cristaux apparaissent-ils dans la nature ? Depuis la découverte des gisements de diamant d'Afrique du Sud en 1866, on a compris que même si l'on trouve des diamants dans des graviers, ces diamants proviennent de roches rarissimes du manteau supérieur de la Terre, les « kimberlites », qui se sont formées entre 140 et 230 kilomètres sous terre et sont brusquement remontées à la surface (voir l'encadré page 60).

De fait, des pierres aussi dures et denses ne se forment qu'à haute pression (4,5 à 6 gigapascals) et à haute température (1 100-1 400 °C), soit au-delà de 140 kilomètres de profondeur dans le manteau terrestre



4. UN DIAMANT est constitué d'atomes de carbone organisés en une structure cubique très compacte : le cube représentant la maille élémentaire du cristal comporte un atome à chaque sommet et au centre de chaque face, ainsi que quatre tétraèdres formés par des groupes de quatre atomes (a). En croissant, cette structure produit généralement des diamants octaédriques, tel ce diamant d'Afrique du Sud (b). En recherchant dans le diamant de Tavernier simulé des angles caractéristiques d'un octaèdre en formation, l'équipe de l'auteur a déterminé la forme naturelle du diamant tel qu'il a cristallisé dans le manteau terrestre (c) : il n'avait pas achevé sa transformation en octaèdre et présentait donc un mélange des faces cubiques et octaédriques. Le diamant de Tavernier ne représentait qu'un tiers de ce diamant. Où sont passés les deux tiers restants ? Mystère...

✓ À NOTER

En décembre 2010, sur *France Culture*, **La marche des sciences** consacrera une émission au diamant bleu de la couronne. À écouter le jeudi de 14h à 15h ou sur le site : <http://www.franceculture.com>

Début 2011, la chaîne *Arte* consacrera une soirée *Thema* au diamant bleu, au cours de laquelle sera diffusé un docu-fiction intitulé *À la poursuite du diamant bleu*.

ou pendant un impact violent, tel celui d'une météorite sur la Terre ou au sein d'une supernova ou d'une naine blanche. L'étoile BPM 37093 du Centaure semble ainsi composée d'un noyau de diamant évalué à pas moins de dix millions de trillions de trillions de kilogrammes ! (Aujourd'hui, on fabrique des diamants de synthèse de dix carats pour l'industrie et la joaillerie, soit deux grammes, pour un brillant d'environ 13 millimètres de diamètre et 7,7 millimètres d'épaisseur.)

Un diamant trois fois plus gros à l'origine ?

Les facettes du diamant brut traduisent l'empilement des atomes de carbone et non pas ses propriétés optiques (d'où le caractère peu brillant du diamant naturel). En

considérant que le diamant avait cristallisé sous une forme intermédiaire entre le cube et l'octaèdre et en recherchant les angles caractéristiques de cette forme dans le diamant de Tavernier, nous sommes arrivés à la conclusion que le diamant avait été clivé entre sa croissance et son achat.

Plus précisément, la stabilité de chaque face du diamant de Tavernier a été calculée dans le cadre de la théorie de Bravais-Friedel-Donnay-Harker, du nom des cristallographes qui ont contribué à ce modèle de prédiction de la morphologie des cristaux ; cette théorie permet de déterminer les faces les plus stables et indique que seules ces faces sont conservées durant la cristallisation. Nous avons ainsi pu estimer la forme du cristal la plus stable : celle-ci est un rhombicuboctaèdre (structure entre le cube et l'octaèdre, voir la figure 4) de poids

LES KIMBERLITES, SOURCES PROFONDES DU DIAMANT

La découverte d'un diamant en surface tient presque du miracle, tant les conditions à réunir sont rares. Formés dans les profondeurs du manteau terrestre, les diamants sont charriés à la surface par des kimberlites, roches profondes à la minéralogie si originale que leurs origines précises font toujours débat.

Les kimberlites contiennent des silicates (moins de 45 pour cent), du magnésium, et sont riches en fluides (H_2O et CO_2) et en potassium ;

elles sont principalement composées d'olivine, de phlogopite (un mica), de pyroxènes (des silicates) et de grenats enrichis en magnésium et en chrome ; elles contiennent aussi des minéraux secondaires typiques, tels la richterite potassique, du spinelle chromifère, des ilménites magnésiennes et, parfois, du diamant.

On suppose que la kimberlite se forme à partir d'une roche particulière du manteau terrestre, une lherzolite à grenat, vers 140-230 kilomè-

tres de profondeur sous des « cratons ». Les cratons sont des zones continentales n'ayant pas connu de formation de montagnes depuis au moins un milliard d'années. Les lherzolites seraient donc la « racine » profonde de la kimberlite : issues de ces roches, des poches de magmas remonteraient sous forme de grosses « gouttes » kilométriques imprégnant les roches environnantes.

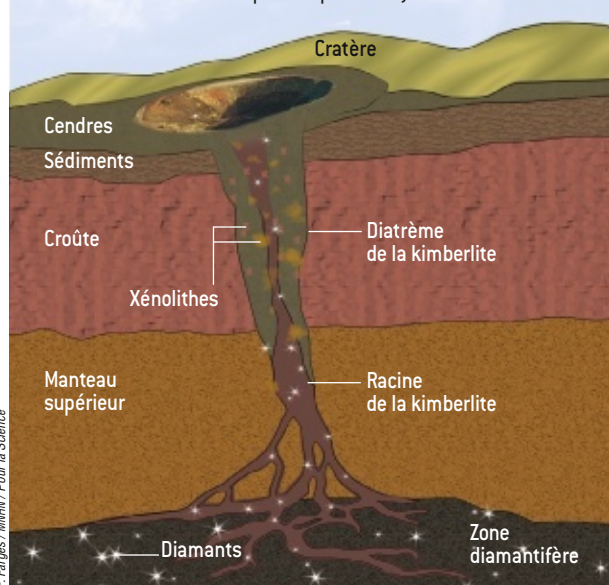
L'ascension de ces poches vers la surface est très rapide. Vers trois kilomètres de profondeur, les magmas dégazent violemment et font exploser la région où ils se trouvent. Le dégazage fluidifie le matériau composite (assemblage gaz-liquide-solide) qui les constitue, lequel remonte alors rapidement vers la surface (vitesses de remontées de l'ordre de 10 à 40 mètres par seconde). Se forment ainsi des cheminées apicales en forme de carotte de quelques kilomètres de diamètre, les « diatrèmes ». Les kimberlites véhiculent aussi des roches rencontrées en profondeur ou durant l'ascension (« xénolithes »), parfois diamantifères.

Quelquefois, la kimberlite forme des cratères, lors d'éruptions cataclysmiques où toute vie peut être éradiquée à des dizaines de kilomètres alentour. Plus tard, la kimberlite s'érodera plus facilement que

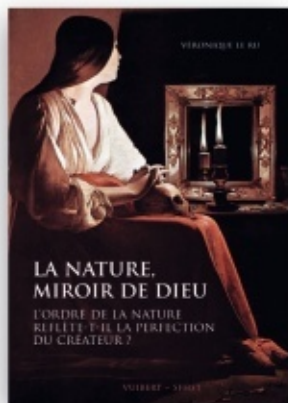
les roches qui l'entourent, car sa roche est tendre et altérable. Parfois, un lac occupe l'emplacement supérieur de la cheminée. Dans d'autres cas, la kimberlite est enfouie de 10 à 100 mètres sous des sédiments. Les portions de kimberlite érodées par les intempéries sont emportées par des rivières et mélangées aux sédiments des fonds de rivières (comme en Inde ou au Brésil) ou de plages (Namibie).

Seules les kimberlites qui ont pris naissance dans des zones diamantifères du manteau terrestre contiennent des diamants. La datation des diamants montre qu'ils sont toujours plus anciens que les roches qui les ont véhiculés, ce qui suggère qu'ils ont été charriés par la roche kimberlitique après leur formation. Les diamants ne cristallisant pas à moins de 140 kilomètres de profondeur, seules les kimberlites qui se sont formées au-dessous ont pu en véhiculer. En outre, la remontée de la roche doit être rapide, sinon le diamant se transformerait en graphite et en CO_2 , les variétés stables de carbone dans les zones superficielles de la Terre. La probabilité est donc faible de récupérer des diamants en surface, même si l'on peut postuler que le diamant n'est pas aussi rare dans le manteau terrestre qu'en surface.

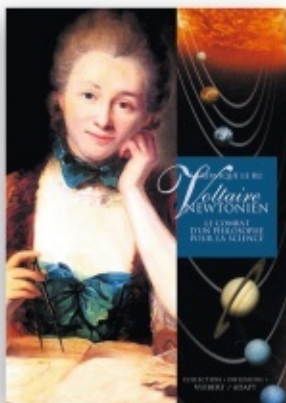
Coupe d'une kimberlite (l'échelle n'est pas respectée, la hauteur réelle est bien plus importante).



F. Farges / MHNH / Pour la Science



Véronique Le Ru
7-20644, 128 p., 15 €, février 2009



Véronique Le Ru
7-53741, 128 p., 15 €, mars 2005
Coédition ADAPT-SNES



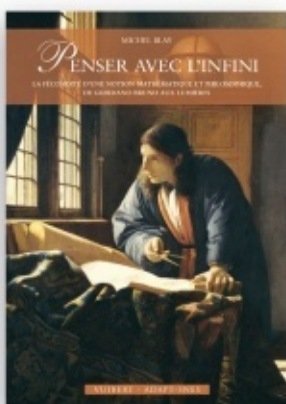
Florian Douam, Louis-Marie Bobay
0-02201, 128 p., 13 €, octobre 2010
Collection « Va savoir ! »
Ouvrage tout en couleur



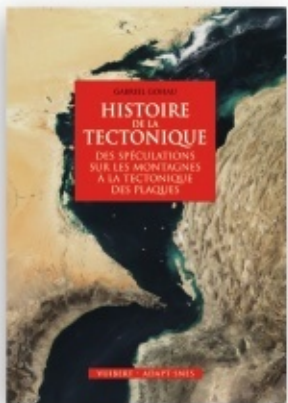
Laurent Loison
0-02300, 256 p., 29 €, août 2010



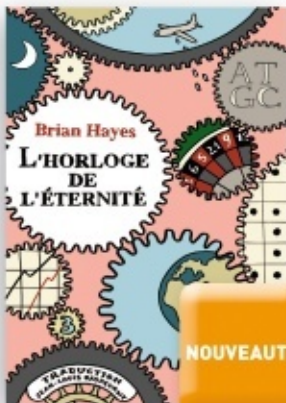
Georges Petavy
0-00245, 208 p., 22 €, avril 2010
Collection « Va savoir ! »



Michel Blay
0-01464, 144 p., 17 €, mai 2010
Collection « Inflexions »
Coédition ADAPT-SNES



Gabriel Gohau
0-00122, 176 p., 22 €, juin 2010



Brian Hayes
0-01129, 240 p., 25 €, octobre 2010

Sciences 2010 VUIBERT



Laurence Maurines
Illustré en couleurs par Olivier Martin
0-01884, 400 p., 42 €, août 2010
Sciences Art Religion, Patrick Barberousse, Sadek Beloucif, Alain Bernard, Michel Bitbol, Michel Blay, Laura Bossi, Rémi Brague, Sylvie Cadolle, Georges Chapouthier, Patrick Chaquin, Faouzia Charfi, Gilles Cohen-Tannoudji, Olivier de Dinechin, François Euvé, Philippe Huneman, Jean-Paul Jouary, Christian Kasmierczak, Étienne Klein, Rixon Krygier, Marc Lachèze-Rey, Marc le Maire, Laurence Maurines, Patrick Mérot, Michel Morange, Jean-Paul Morley, Claire Petitmengin, Nathalie Raybaud, Guy Samama et Odon Vallet.

«Quelle que soit notre philosophie ou notre obédience, nul d'entre nous n'est capable de programmer un ordinateur qui puisse définir le bien et le mal. Lorsque ce "quelque chose" que nous appelons la "conscience" apparaît, ses conséquences sont imprévisibles, avec un énorme pouvoir de faire et le bien et le mal».

Jean-Louis Basdevant,
«Le principe du chat» in *Le plus grand des hasards*
Entretiens réunis par Jean-François Dars et Anne Papillault, Belin



Véronique Le Ru
0-02423, 128 p., 16 €, octobre 2010
Collection « Inflexions »
Coédition ADAPT-SNES

www.Vuibert.fr



5. RECRÉATION MODERNE de la Toison d'or de Louis XV, dite « de la parure de couleur », avec, en son centre, le grand diamant bleu de Louis XIV. Supervisée par le haut-joaillier genevois Herbert Horowitz, cette récréation nécessita quatre années d'un patient et minutieux travail scientifique impliquant l'auteur et les meilleurs artisans (lapidaires, orfèvres, sertisseurs, ainsi que maroquiniers et relieurs pour l'écrin de l'insigne). Hauteur : 16 centimètres.

✓ SUR LE WEB

Retrouvez une simulation du diamant bleu en vidéo sur notre site Internet www.pourlascience.fr

Un site consacré à l'épopée du diamant bleu : www.lediamantbleu-lelivre.fr

✓ BIBLIOGRAPHIE

F. Farges et T. Piantanida, *Le diamant bleu* [roman historique], Michel Lafon, 2010.

F. Farges et al., *The French Blue and the Hope : new data from the discovery of a historical lead cast*, *Gems & Gemology Spring*, pp. 2-17, 2009.

F. Farges et al., *Deux découvertes majeures autour du diamant bleu de la couronne*, *Revue de gemmologie*, vol. 168, pp. 17-24, 2008.

R. Kurin, *Hope Diamond : the Legendary History of a Cursed Gem*, Harper Collins, 2006.

Les diamants, du cœur de la Terre au cœur du pouvoir, *Dossier Pour la Science*, n°35, 2002.

H. Bari et V. Sautter, *Diamants*, Muséum national d'histoire naturelle, 2001.

B. Morel, *Les joyaux de la couronne de France*, Fonds Mercator, 1988.

J.-B. Tavernier, *Les six voyages de Jean-Baptiste Tavernier*, Clouzier, 1676.

environ 300 carats. En d'autres termes, le diamant de Tavernier n'était probablement que la partie centrale d'un cristal plus important qui a cristallisé dans le manteau terrestre il y a plus de 1,2 milliard d'années (âge de la mise en place des cheminées diamantifères d'Inde), et qui a été scindé en trois parties depuis.

Où sont passés les deux autres volumes qui entouraient le diamant de Tavernier ? Ont-ils été clivés lors de l'éruption qui a rapproché la gemme de la surface terrestre ? Ont-ils été récupérés par les Indo-Moghols lors de leurs explorations minières ? Sont-ils coincés dans la croûte terrestre ? Ou le cristal d'origine a-t-il été coupé en trois morceaux par un mineur indien et vendu à trois clients différents ? Plusieurs candidats sont possibles : un diamant bleu de 35 carats et de couleur similaire a été vendu au roi d'Espagne vers 1660 ; Marie-Antoinette aurait eu un diamant bleu de 5,6 carats ; la famille des ducs de Brunswick en possédait un de 13,5 carats en provenance d'Inde. Sans parler de *Tereschenko*, un grand diamant bleu indien de 43 carats. Sont-ils issus de ce même cristal ? L'enquête sur la gemme elle-même trouve ici ses limites, mais les archives mogholes nous renseigneront peut-être.

D'où provient la couleur bleue ?

Ainsi, le mythique diamant bleu de la couronne, le plus beau des joyaux de la couronne de France avec le *Régent*, a été retrouvé grâce à un modèle en plomb resté inaperçu pendant 170 ans dans les réserves de minéralogie du Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. C'est aussi grâce à ce modèle en plomb et à la description de Tavernier que nous avons pu retrouver les caractéristiques du diamant acheté par le voyageur, puis remonter au cristal tel qu'il s'est formé dans le manteau terrestre de Golconde, il y a plus de 1,2 milliard d'années, avant d'être projeté à la surface.

D'où venait ce modèle en plomb ? L'hypothèse la plus logique est qu'Achard connaissait le retailleur londonien (Jean Francillon, selon l'historien Bernard Morel), car ils étaient tous deux des lapidaires français protestants. La fabrication d'un moule en plomb avant de retailer un diamant est une tradition londonienne bien documentée, utilisée notamment pour le *Régent*. Pourquoi Achard a-t-il donné ce modèle en plomb au Muséum de façon aussi discrète ? Nous n'en savons rien, sinon que le « secret



professionnel » des grands joailliers prévaut encore de nos jours. Une chose est sûre : de par les qualités optiques du diamant décelées par simulation, la réplique en plomb a prouvé qu'elle était, bien plus que le diamant *Hope*, la digne héritière du diamant bleu français.

L'enquête n'est pas terminée pour autant. Nous recalculons actuellement la couleur du diamant bleu à partir d'une structure de carbone dopée en bore. Les gemmologues supposent que le bore confère au diamant sa couleur bleu métallique, mais nous n'en avons aucune preuve formelle et directe. Au moyen de calculs fastidieux assistés par ordinateur, nous estimons quelles longueurs d'onde sont absorbées par un diamant dopé en bore, afin de vérifier si le bore est la source de la couleur des diamants bleus. L'enquête historique se poursuit aussi, notamment sur les joailliers impliqués dans cette histoire : Pittan et Achard. Plusieurs documents ont été retrouvés, qui permettent de mieux cerner les personnalités de deux joailliers encensés en leur temps et aujourd'hui injustement tombés dans l'oubli. ■

NOUVELLE VERSION

SigmaPlot® 12



— DISPONIBLE POUR WINDOWS —



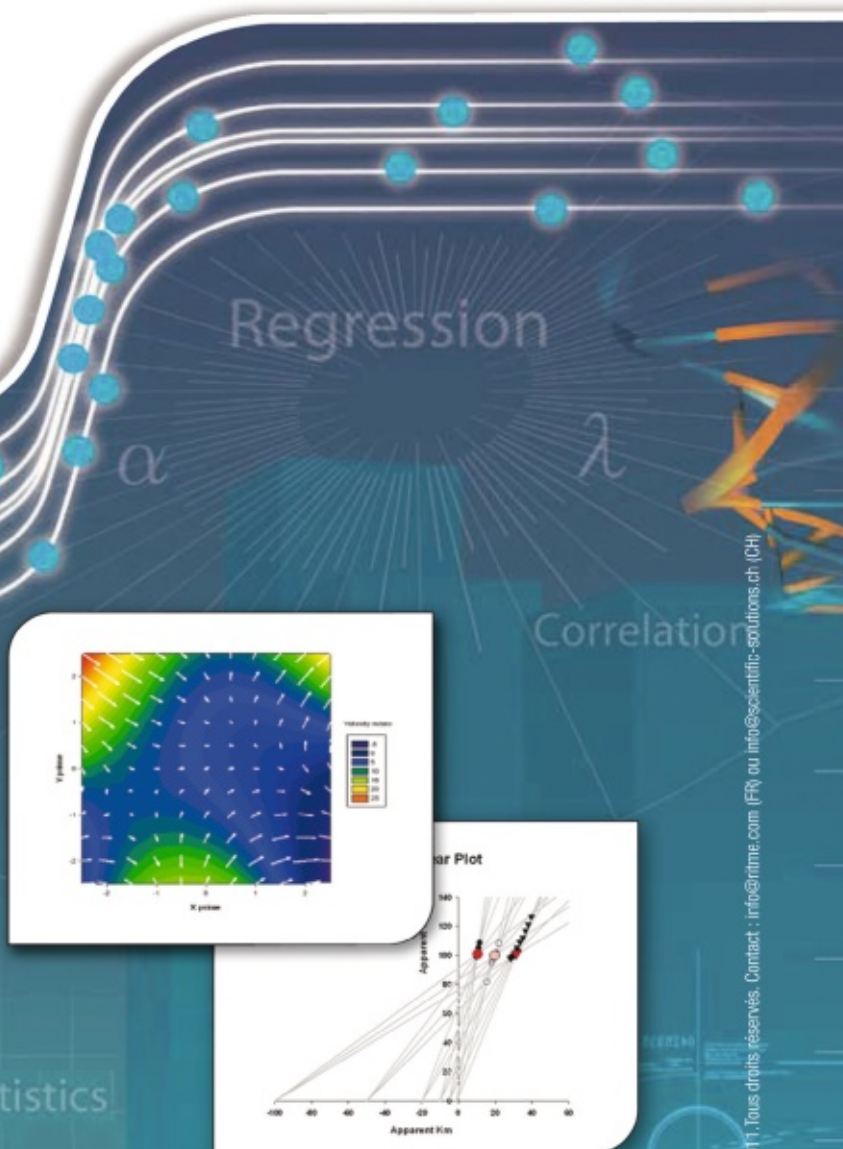
**Le logiciel d'analyse et de visualisation
de données scientifiques simple et performant**

SIGMAPLOT INTÈGRE MAINTENANT SIGMASTAT & LE MODULE ENZYME KINETICS

SigmaPlot offre de puissantes capacités graphiques, des outils d'édition performants, et la possibilité d'exporter aux formats EPS, TIF, JPEG, PDF, HTML pour publier vos travaux sur tous supports. Un large éventail de fonctions d'analyse : statistiques de base, régression, ajustement... ainsi que l'accès direct à SigmaStat vous permettent d'interpréter facilement vos données !

SigmaPlot & SigmaStat sont tous les deux parfaitement intégrés à Excel : vous pouvez utiliser les fonctions, les tableaux croisés dynamiques et les macros de MS Excel directement dans SigmaPlot & SigmaStat, et analyser votre feuille de travail Excel dans SigmaStat.

Module Enzyme Kinetics : maintenant intégré à SigmaPlot, il met à votre disposition plus de 40 équation-modèles pour l'analyse des réactions enzymatiques, de nombreux graphiques types vous permettant de déterminer le meilleur modèle d'inhibition.



SCIENTIFIC solutions

www.scientific-solutions.ch

Distribué en Suisse par Scientific Solutions SA

www.ritme.com

Distribué en France par Ritme Informatique

