

✓ 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.

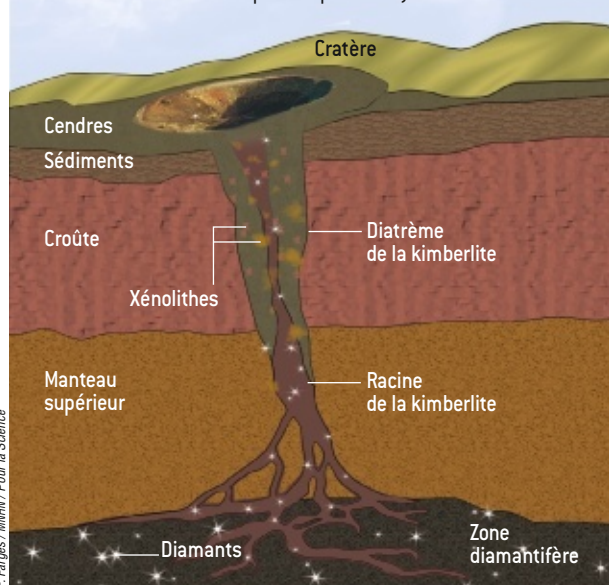
L'ascension de ces poches vers la surface est très rapide. Vers trois kilomètres de profondeur, les magmas dégazent violemment et font exploser la région où ils se trouvent. Le dégazage fluidifie le matériau composite (assemblage gaz-liquide-solide) qui les constitue, lequel remonte alors rapidement 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).



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 Horovitz, 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-livres.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 intact 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. ■

F. Farges / Mithril

Des jeux vidéo plus réalistes

Henrik Wann Jensen et Tomas Akenine-Möller



Grâce à l'évolution conjointe des algorithmes et des composants matériels, l'informatique graphique crée des images de plus en plus proches de la réalité.

Depuis l'émergence, au début des années 1960, de l'informatique graphique à trois dimensions, ou 3D, les spécialistes du domaine rêvent de créer des univers virtuels dits photoréalistes, impossibles à distinguer du monde réel. Créateurs, architectes, éclairagistes, passionnés de jeux vidéo et du graphisme scientifique souhaitent que les cartes vidéo puissent afficher des scènes 3D interactives.

Les concepteurs et fabricants de matériels informatiques et d'algorithmes ont fait des progrès spectaculaires en la matière ; il suffit de regarder un adolescent s'adonnant aux jeux les plus récents pour s'en convaincre. Il reste néanmoins des défis de taille, à commencer par la tâche de calcul nécessaire pour produire de telles images. Des progrès ont été réalisés à l'aide d'algorithmes ingénieux, et les générations successives des processeurs graphiques ont permis d'organiser et réaliser les calculs lourds nécessaires à la synthèse d'images.

Pourtant, afficher des images photoréalistes en temps réel reste difficile. La plupart des ordinateurs de bureau n'utilisent

qu'une minuscule fraction de leurs cycles de calcul pour effectuer les tâches de routine. Rien à voir avec l'écrasante tâche qui incombe aux applications 3D les plus avancées : le rendu d'une seule image peut demander plusieurs heures de calcul aux machines les plus rapides, afin par exemple de suivre le chemin de milliards de photons ou les diffusions de la lumière sous la surface d'objets translucides.

La quête du temps réel

Or les joueurs vidéo les plus performants réclament aujourd'hui que les scènes 3D s'affichent à raison de 60 images par seconde au moins. Cette quête du temps réel est motivée non seulement par le désir de voir des scènes d'un bon réalisme, mais aussi par le besoin d'interagir avec elles. La norme télévisuelle de 29,97 images par seconde est suffisante pour un spectateur passif ; les applications en temps réel, tels les jeux et les simulateurs de vol, doivent fonctionner à la

vitesse des réflexes humains. Il s'agit de photoréalisme en temps réel.

En tant que participants à cette entreprise de création de graphismes à rendu réaliste (l'un d'entre nous se consacre plus particulièrement à la recherche d'une plus grande vitesse, l'autre à l'élaboration d'un meilleur réalisme), nous passerons en revue les différents types de calculs requis, les dispositifs qui ont été proposés pour les alléger, et l'univers parallèle du développement de matériels capables de mener ces calculs.

Les matériels et les logiciels évoluent de conserve depuis plusieurs décennies. Le secteur du matériel, porté principalement par la soif de vitesse des joueurs vidéo, a produit des cartes graphiques d'une extraordinaire puissance. Les calculs ont été transférés des unités centrales (CPU, *Central Processing Units*) des ordinateurs aux processeurs graphiques (GPU, *Graphics Processing Units*) des cartes vidéo commerciales. Le bond des prouesses de calcul entraîne alors la création d'algorithmes capables d'accroître le réalisme.