

épisode, ils ont connu un répit de près de 1 500 ans. Leur sort s'est à nouveau dégradé à partir de la colonisation européenne, au XIX^e siècle, l'apparition du fusil à tir rapide et la démocratisation de la chasse. Les lions ont disparu progressivement d'Afrique du Nord entre la fin du XIX^e et le milieu du XX^e siècle. Le dernier lion sauvage d'Afrique du Nord a été tué au Maroc en 1942. Au Sahara, les lions avaient décliné, mais pas totalement disparu, avec l'extension du désert. Quelques populations isolées ont survécu jusqu'au milieu du XX^e siècle. Elles ont été éliminées par les Touaregs.

Les derniers lions sauvages d'Eurasie vivent dans la péninsule Kâthiâwar, dans l'Ouest de l'Inde, où une réserve naturelle a été créée. À la fin du XIX^e siècle, leur population a décliné jusqu'à une douzaine d'individus, dont sont issus tous les lions d'Asie actuels, de sorte qu'ils présentent une diversité génétique plus faible que les lions subsahariens.

Le milieu naturel est composé d'un environnement mixte de savanes et de forêts. Le climat alterne entre saisons sèches et moussons. Les cyclones y sont réguliers, pouvant déraciner des centaines d'arbres en quelques heures. La faune comprend une dizaine d'espèces de gros herbivores sauvages, avec une large dominance du chital (*Axis axis*), un cervidé d'environ 50 kilogrammes. D'autres grands carnivores, tels les léopards, peuplent aussi la région.

Une population croissante, mais fragile

À l'inverse de leurs homologues africains, les lions indiens actuels vivent essentiellement dans les forêts. Ils peuvent s'y embusquer près des points d'eau, très fréquentés par les grands herbivores durant la saison sèche. Les mâles indiens sont de meilleurs chasseurs que ceux d'Afrique, notamment parce que leur crierie moins fournie les préserve d'une transpiration excessive, de sorte qu'ils ne dépendent pas des femelles pour se nourrir.

En Inde, les groupes résidents comportent peu d'individus (deux femelles en moyenne) et ont de petits territoires : entre 72 et 81 kilomètres carrés pour les groupes de femelles, et entre 75 et 188 kilomètres carrés pour les groupes de mâles, qui vivent de façon indépendante en dehors des périodes de rut.

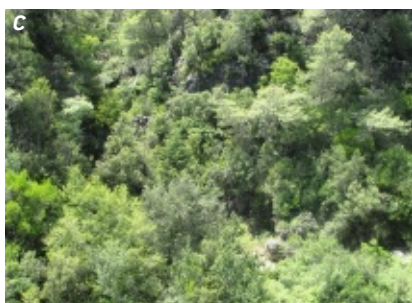
La femelle ne se reproduit que tardivement : elle doit être âgée d'au moins huit ans et établie dans un groupe. Les lions indiens ont une grande fécondité : la population comprenait 177 adultes en 1968, 359 en 2005 et 411 en 2010. Avec la croissance de la population, le territoire des lions s'est naturellement élargi : en 2006, 106 d'entre eux s'étaient établis en dehors de la réserve. Les groupes y sont plus réduits, car les proies sont plus rares et la survie plus aléatoire.



© Brigitte Lion



© Franschojys/tuttystock.com



© Annik Schmitzer

5. DES MILIEUX VARIÉS ont été investis par les lions du groupe nord-africain/asiatique : des bords de cours d'eau (a, dans la vallée de l'Euphrate), des oasis au milieu de déserts (b), des forêts de montagne (c, en Crète)...

Malgré cette croissance, la population indienne reste très fragile, en raison d'une grande uniformité génétique, d'une spermatogenèse anormale (79 pour cent des spermatozoïdes sont non féconds, contre 25 à 61 pour cent pour le lion africain) et d'un taux de mortalité élevé (environ 59 pour cent) parmi les lionceaux. Tout événement climatique ou sanitaire important peut l'anéantir rapidement : le lion est sujet à de nombreux pathogènes, d'autant plus dangereux que

les populations sont petites et que leur uniformité génétique rend difficile la sélection d'une souche résistante.

Autre problème, les lions indiens cohabitent assez mal avec les villages périphériques. Dans la réserve de Kâthiâwar et ses alentours vivent près de 160 000 personnes et plus de 110 000 têtes de bétail. Les lions s'attaquent aux uns et aux autres : entre 1985 et 1995, ils ont tué 11 485 bovidés domestiques, blessé 95 personnes et causé 16 décès humains. Des efforts politiques sont donc indispensables pour améliorer la cohabitation entre l'homme et le lion. En Inde, on a par exemple proposé d'augmenter la densité de proies sauvages, pour diminuer les attaques contre l'homme et le bétail, et d'augmenter la superficie de la réserve : celle-ci passerait de 1 883 kilomètres carrés à 2 500 kilomètres carrés.

Depuis les années 1960, le lion d'Asie bénéficie d'un programme international de reproduction en captivité. Des études génétiques ont déterminé les lions de ce groupe non hybridés, présents dans le zoo de Junagardh, dans la péninsule Kâthiâwar. On les a ensuite faits se reproduire, jusqu'à obtenir près d'une centaine de lions. Entre 1991 et 1992, ceux-ci ont été envoyés dans 36 zoos du monde entier (Zurich, Helsinki, Nantes...). Ces lions seront-ils relâchés un jour ? C'est envisageable, notamment dans la région de Junagardh, où ils pourraient être accueillis dans la réserve.

Les programmes de survie du lion d'Asie s'appuient aussi sur des recherches comportementales. Les zoologues tentent de préciser les conditions les plus favorables à son développement, ce qui pourrait améliorer le choix des futures réserves.

La préservation de l'espèce, de l'Asie à l'Afrique, dépend de l'homme, en pleine expansion démographique. Dans ce contexte, la question de l'acceptation du lion par l'homme est cruciale. Elle est liée à des héritages symboliques – le lion est très présent dans les traditions culturelles de tous les continents –, et aux évolutions sociétales plus récentes, par exemple la préoccupation pour la biodiversité. Une certaine éthique environnementale serait également importante, afin de limiter au maximum la chasse dans les parcs nationaux. Quant à la question des exhibitions d'individus captifs, elle reste ouverte, même si les zoos ont au moins l'intérêt d'éviter une disparition pure et simple. Mais, à l'évidence, ce n'est pas une fin en soi. ■

La géologie des gemmes

Lee Groat et Gaston Giuliani



L'ESSENTIEL

- Composition chimique, structure cristalline, origine, nature des inclusions : chaque gemme présente des caractéristiques liées aux conditions de sa formation.
- En les étudiant, les géologues remontent aux mécanismes qui ont conduit à la formation des gemmes.
- Leurs travaux permettent de prospecter de nouveaux gisements et de mieux comprendre les processus mis en jeu dans les profondeurs de la Terre.

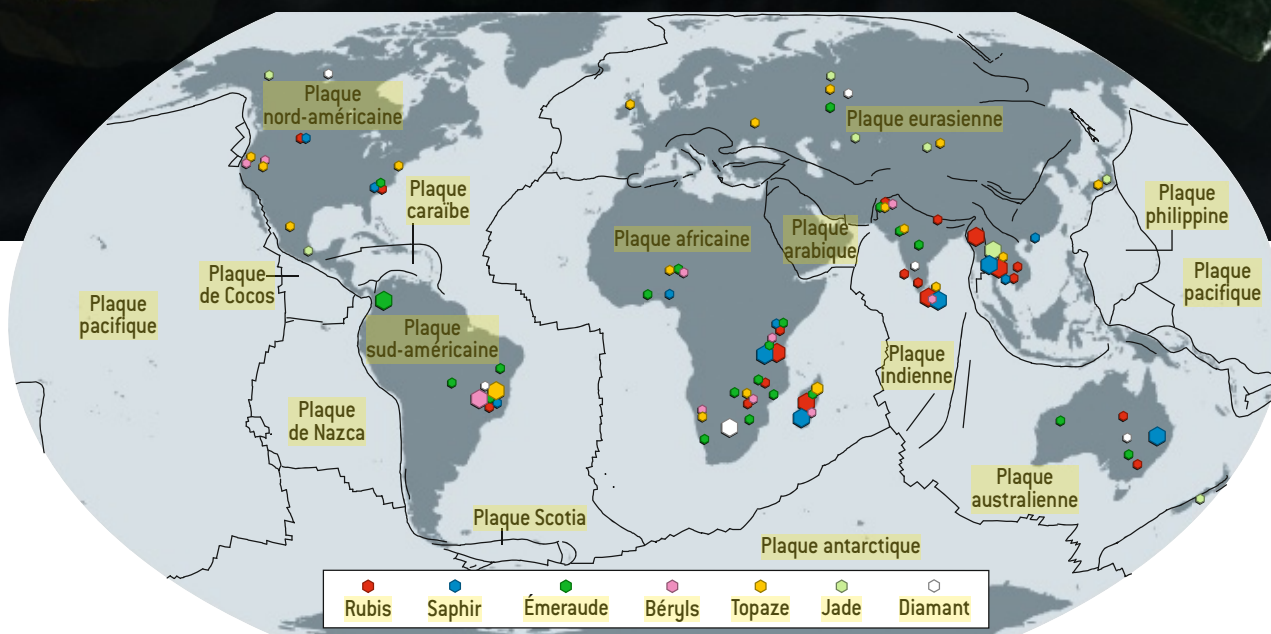
Diamant, rubis, saphir, émeraude, topaze, jade...
Les gemmes sont autant d'indices qui renseignent les géologues sur les conditions régnant dans les profondeurs de la Terre.

Objets prisés depuis des milliers d'années, les gemmes sont appréciées pour leur couleur, leur lustre, leur transparence, leur longévité et... leur valeur commerciale. Nombre de gemmes étant produites par de petites exploitations dans des régions reculées de pays en développement, il est difficile d'obtenir des statistiques précises sur leur production et leur valeur. En 2008, on estimait néanmoins la production mondiale de diamants bruts à dix milliards d'euros et, en 2001, le commerce mondial de gemmes colorées s'élevait à près de cinq milliards d'euros par an, selon le magazine *Colored Stone*.

Si les gemmes atteignent des valeurs si élevées, c'est en partie en raison de leur rareté. Un gisement de diamant produit en moyenne cinq grammes de gemmes par tonne de matériau extrait, et seuls 20 pour cent de ces gemmes sont de qualité joaillière. Comme le pétrole, les gemmes se forment sur des temps longs, même à l'échelle géologique : par datation radiométrique des inclusions piégées par les diamants, on a déterminé que certaines formations de gemmes ont entre 970 millions et 3,2 milliards d'années. Les gemmes de haute qualité sont extraites beaucoup plus vite qu'elles ne sont produites, ce qui en fait une ressource finie.



© Stephen J. Krasemann/All Canada Photos/Corbis



Par exemple, la mine d'émeraude découverte en 1981 à Santa Terezinha de Goiás au Brésil a produit, en 1988, 25 tonnes de pierres brutes estimées à sept millions d'euros ; en 2000, le même tonnage s'est vendu pour seulement 710 000 euros. Des formes synthétiques de nombreuses gemmes existent aujourd'hui, mais elles n'ont pas encore d'impact sérieux sur le marché international des gemmes.

Cette rareté rend aussi les pierres gemmes « précieuses » pour les géologues. Des conditions géologiques exceptionnelles sont nécessaires pour produire les gisements de gemmes. Quelles sont ces conditions ? Où trouver de nouvelles gemmes ?

Un nombre croissant de géologues se penchent aujourd'hui sur ces questions avec l'espoir de mieux comprendre l'origine des gemmes et les mécanismes qui conduisent à leur formation. Notamment, si la géologie du diamant est étudiée depuis plusieurs décennies, on ne s'intéresse aux processus de formation des gemmes de couleur que depuis une vingtaine d'années, et, nous allons le voir, elles sont loin d'avoir révélé tous leurs secrets.

Il existe des dizaines de types de gemmes. Nous nous intéresserons à quelques-unes parmi les plus connues et les plus importantes sur le marché international : le diamant, le rubis et le saphir, l'émeraude

et d'autres variétés du béryl, le chrysobéryl, la tanzanite, la tsavorite, la topaze et le jade (parmi les gemmes courantes dont nous ne traiterons pas ici, citons l'ambre, l'améthyste, la calcédoine, le grenat, la lazurite, la malachite, les opales, le péridot, la rhodonite, le spinelle, la tourmaline, la turquoise et le zircon).

ON TROUVE SOUVENT LES GEMMES dans des zones d'activité tectonique ou volcanique, mais certains gisements sont localisés à des endroits sans signe d'activité magmatique. La taille des symboles indique l'importance économique des gemmes dans une région donnée. En photo, des émeraudes brutes et taillées.

LE DIAMANT

Le diamant est la phase cristalline du carbone stable à très haute pression. C'est la gemme la plus « précieuse » ; certaines pierres coûtent jusqu'à 400 000 euros le carat (un carat équivaut à 0,2 gramme), soit plus de 15 millions d'euros la pièce. Les études sur l'origine et la signification des structures, des roches hôtes ainsi que les inclusions piégées par le diamant ont permis de déterminer les équilibres des phases minérales des profondeurs terrestres et même conduit à l'élaboration de protocoles pour la synthèse du diamant en laboratoire.

Pendant des centaines d'années, la région de Golkonda, dans l'Inde centrale, a été la première source de diamants, jusqu'à la découverte de gisements au Brésil au XVIII^e siècle, puis à Kimberley, en Afrique du Sud, en 1866. Aujourd'hui, les trois principales nations productrices de diamants sont le Botswana, la Russie et le Canada, suivies de l'Angola, l'Australie, le Congo, le Lesotho, la Namibie, la Sierra Leone et l'Afrique du Sud.

Le diamant cristallise dans le système cubique : les atomes de carbone qui le composent sont disposés

aux sommets d'un réseau dont la maille est un cube de 0,356 nanomètre d'arête. Cette maille conduit à des formes variées : octaèdres, cubes, cubo-octaèdres ou agrégats moins réguliers. Le diamant présente diverses propriétés physiques, telle l'émission d'une lueur lorsqu'il est soumis à un rayonnement ultraviolet ou X. Cette caractéristique commune aux pierres gemmes est due à l'absorption du rayonnement par les défauts de la structure cristalline ; excités par le rayonnement, les électrons de ces défauts vibrent et se désexcitent en émettant de la lumière. Cette fluorescence est exploitée dans le traitement du minerai pour distinguer les diamants des roches sans intérêt, car les longueurs d'onde d'émission lumineuse varient selon la provenance des gemmes – naturelles, synthétiques ou fausses.

La couleur des diamants naturels est liée à leurs impuretés et aux défauts de leur réseau cristallin. Les diamants contenant des impuretés d'azote – dits de type I – sont incolores, bruns ou jaunes quand les impuretés sont regroupées, et jaunes, orangés ou bruns quand elles sont plus diffuses. Certains

sont aussi roses, rouges ou violets : cette couleur serait liée à la déformation de la région du réseau cristallin portant les impuretés, après la formation de la gemme. Les diamants de type II contiennent peu ou pas d'impuretés d'azote, mais peuvent avoir des impuretés de bore, qui rendent le diamant bleu à gris. Les diamants purs sont incolores ou marron.

C'est en étudiant les inclusions minérales dans les diamants que l'on détermine leurs conditions de formation. D'une part, la nature de ces inclusions permet de calculer les pressions et températures de l'environnement dans lequel ils se sont formés. D'autre part, on détermine l'âge des diamants par datation radiométrique de certaines inclusions : on mesure la proportion des différents isotopes d'un même élément dans un matériau qui a subi une désintégration radioactive au cours du temps géologique. Dans un diamant, une telle analyse s'effectue en étudiant les inclusions de silicates et de sulfures, contemporains de sa formation. À une restriction près : si ces

DIAMANT sur sa gangue de kimberlite (taille 1 cm environ).



LE RUBIS ET LE SAPHIR

Le rubis et le saphir sont des variétés de corindon, un oxyde d'aluminium de formule générale Al_2O_3 . Ce sont sans doute les pierres gemmes colorées les plus vendues au monde. Représentant environ un tiers des ventes en valeur, ils atteignent des prix parmi les plus élevés : en 2006, un rubis birman de 8,62 carats s'est vendu 2 860 000 euros et, en 2009, un saphir du Cachemire de 16,65 carats a été acheté 1 880 000 euros.

Le corindon cristallise dans le système hexagonal : il présente un axe de symétrie d'ordre 6 (sa maille est un prisme droit dont la base est un losange, et trois mailles forment un prisme droit à base hexagonale). C'est le remplacement des ions aluminium par d'autres éléments – chrome, titane, fer – qui transforme ce minéral en gemmes colorées : le rubis est rouge, le saphir est bleu, et les autres saphirs sont nommés par leur couleur (jaune, rose, violet, vert, orangé-rose, etc.).

La couleur du rubis est due au chrome, qui est également responsable de la couleur... verte de l'émeraude. Pourquoi cette différence de couleur ? Dans ces deux gemmes, le chrome est entouré de six atomes d'oxygène, mais il n'absorbe pas la lumière de la même façon. Selon une des théories avancées, cette variation de couleur serait liée au potentiel électrostatique imposé par le reste des ions du réseau sur les électrons actifs de l'unité chrome-oxygène. Un champ électrique est ainsi créé dans le voisinage de l'ion chrome du rubis, alors qu'il n'en apparaît pas dans l'émeraude en raison de la symétrie de son réseau. Cette charge entraîne un décalage du spectre d'absorption du rubis vers des énergies plus hautes, de telle sorte que la gemme absorbe la lumière visible dans deux domaines de longueurs d'onde centrés sur 400 et 550 nanomètres, et émet de la lumière à 480 nanomètres (bleu) et 610 nanomètres (rouge).

Le rubis semble rouge parce que l'œil humain est plus sensible au rouge au-dessus de 610 nanomètres qu'au bleu. La fluorescence rouge sous lumière ultraviolette et, parfois, à la lumière du jour, combinée à la couleur rouge du rubis explique l'effet de feu observé dans de nombreux rubis du Myanmar et du Vietnam.

La couleur bleue du saphir est liée au transfert d'électrons entre les ions fer (Fe^{2+}) et titane (Ti^{4+}) remplaçant les ions aluminium (Al^{3+}) dans la structure (moins de 0,01 pour cent d'ions fer et titane suffisent). Lors de leur transfert, les électrons absorbent de l'énergie à une longueur d'onde spécifique du domaine visible, et la couleur correspondante n'est plus perçue. Dans le saphir, les électrons transférés absorbent la lumière de l'extrémité rouge du spectre, ce qui donne un aspect bleu à la gemme. Incolore, le saphir « geuda » est souvent chauffé pour obtenir une plus grande transparence et des colo-



SAPHIR découvert sur l'île de Baffin, au Canada, en 2002.

Avec l'aimable autorisation de Lee Groat