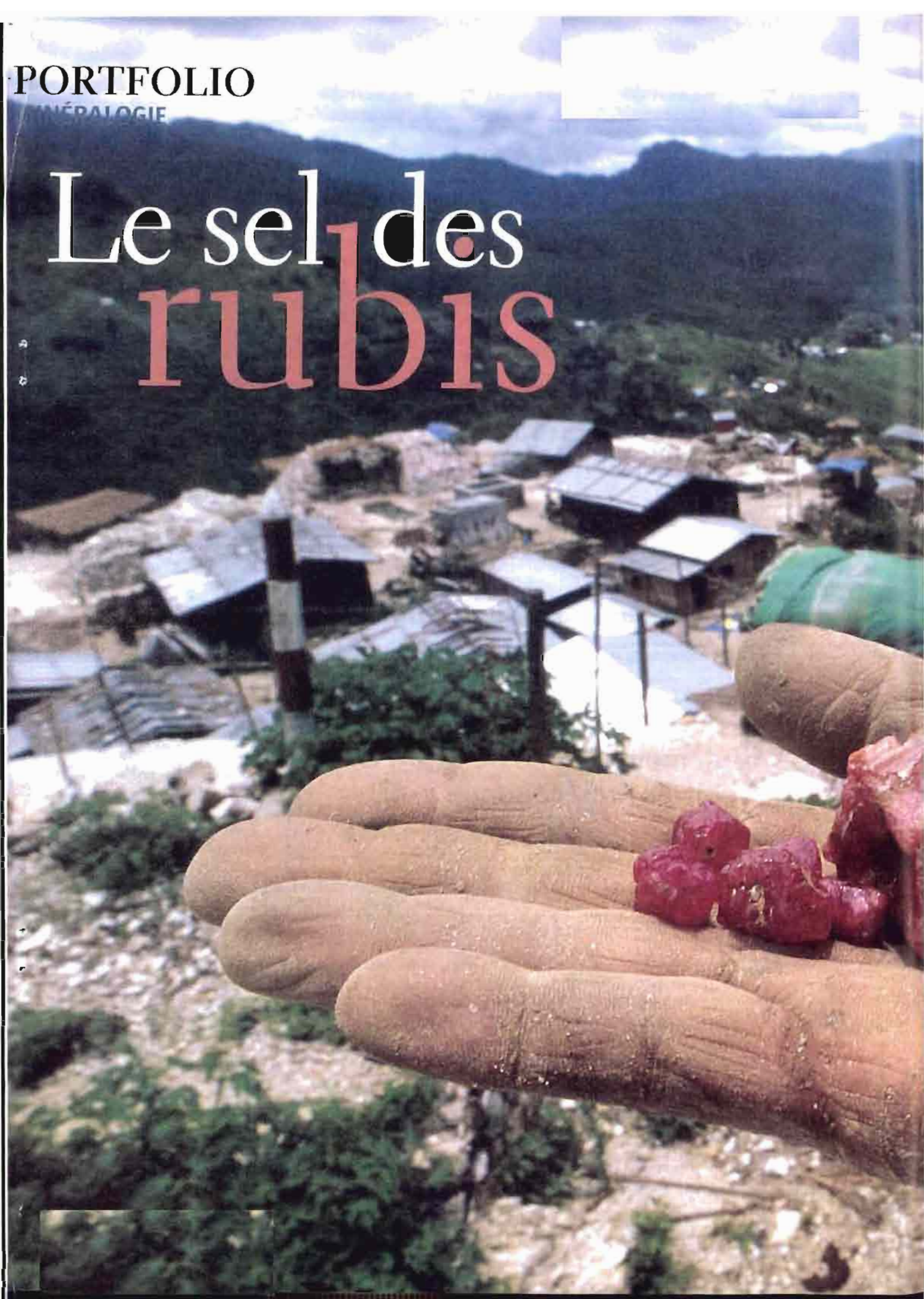
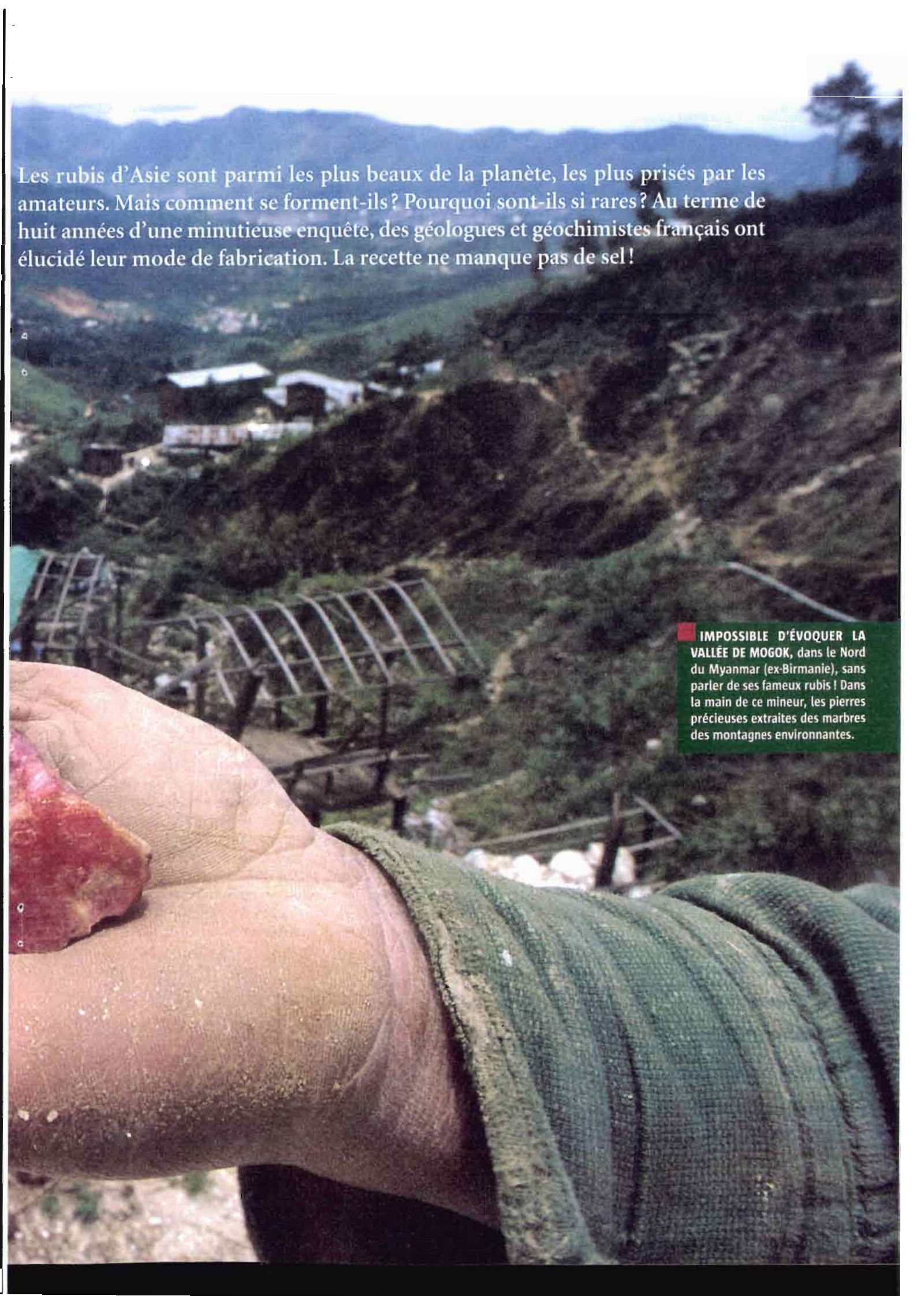


PORTFOLIO

MINÉRALOGIE

Le sel des rubis



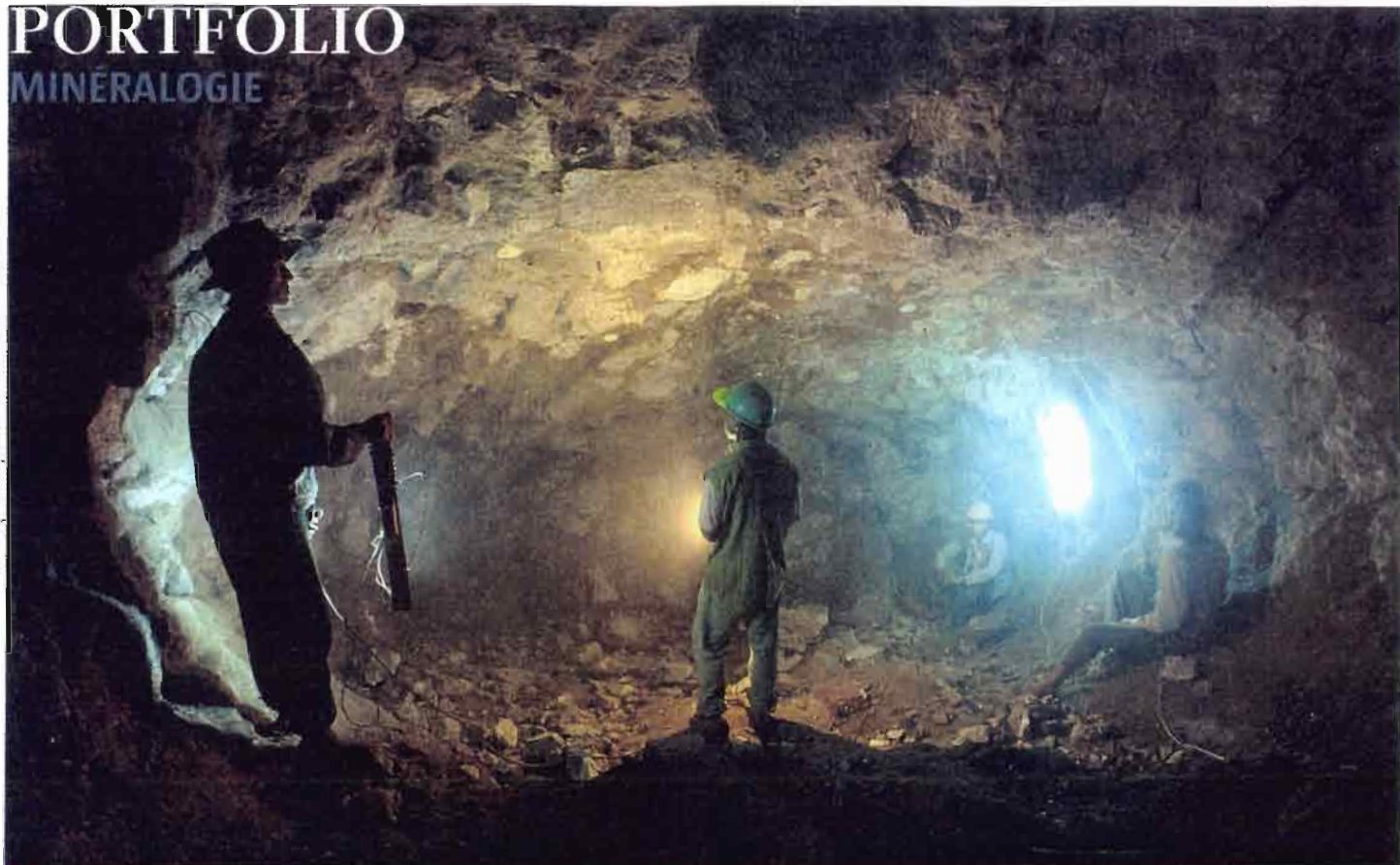
A close-up of a hand holding a rough, reddish-pink gemstone. The hand is positioned in the lower-left foreground. The background is a vast, hilly landscape with green vegetation and a small village with white-roofed buildings nestled in a valley. In the distance, more mountains are visible under a clear sky. A green text box is located in the lower-right area of the image.

Les rubis d'Asie sont parmi les plus beaux de la planète, les plus prisés par les amateurs. Mais comment se forment-ils ? Pourquoi sont-ils si rares ? Au terme de huit années d'une minutieuse enquête, des géologues et géochimistes français ont élucidé leur mode de fabrication. La recette ne manque pas de sel !

IMPOSSIBLE D'ÉVOQUER LA VALLÉE DE MOGOK, dans le Nord du Myanmar (ex-Birmanie), sans parler de ses fameux rubis ! Dans la main de ce mineur, les pierres précieuses extraites des marbres des montagnes environnantes.

PORTFOLIO

MINÉRALOGIE



LES RUBIS SONT ICI ENCHÂSSÉS DANS DES MARBRES, comme dans la plupart des autres gisements d'Asie. Les extraire nécessite de creuser à la dynamite de profondes galeries. Ici, à plus de 150 mètres sous terre, les mineurs examinent la paroi après l'une des explosions.

Fabienne Lemarchand,
journaliste scientifique.

Avec la collaboration de
Gaston Giuliani,
de l'Institut de recherche
pour le développement, et
Daniel Ohnenstetter,
du centre de recherches
pétrographiques et
géochimiques de Nancy.

Il y avait, disaient-ils, dans la Birmanie du Nord, bien au-dessus de Mandalay, parmi les hautes collines recouvertes de jungle, il y avait une vallée qui portait le nom de Mogok. Là-bas, du fond des âges, et le long des ruisseaux, dans les entrailles des roches, au flanc des monts, reposaient, enveloppés dans leur robe de minerai brut, les rubis précieux. Là et... là seulement ! Car, en vérité, à travers le monde immense, sur toute l'étendue de la croûte terrestre, nul n'a jamais trouvé, nul n'a jamais connu, depuis que l'humanité a de la mémoire, un autre lieu pour receler les pierres qui ont à la fois la couleur de la flamme pure et du sang léger. » Dans ces lignes tirées de l'un des récits de voyage de Joseph Kessel, transparait toute la fascination que cette vallée, à la géologie si particulière, célèbre pour ses fameux rubis « sang de pigeon », peut exercer [1].

Paradoxe chimique

Les plus somptueux rubis sont en effet originaires d'Asie centrale : du Myanmar (ex-Birmanie), bien sûr, mais aussi d'Afghanistan, du Pakistan, du Tadjikistan, de l'Azad-Cachemire et du Népal. On en trouve aussi en Asie du Sud-Est, au nord du Vietnam et dans le Sud de la Chine. Tous les gisements, qui suivent la ceinture himalayenne, là où l'Inde s'encastre dans l'Eurasie, partagent plusieurs singularités. Les rubis y sont enchâssés dans des marbres, des roches composées surtout de

carbonate de calcium. Ils sont toujours concentrés à l'intérieur de fines lentilles, et parfois de fentes ou de veines, de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, qui s'étendent sur quelques décimètres [2]. Enfin, bien que de petite taille, les pierres sont d'une qualité exceptionnelle car très pauvres en inclusions minérales.

Si elles n'ont plus guère de secrets pour les gemmologues, leur genèse est en revanche longtemps restée une énigme pour les géologues. Et pour cause. Le rubis est la variété rouge d'un minéral très dur, le corindon, un oxyde d'aluminium. Or, les marbres hôtes sont *a priori* dépourvus d'aluminium... D'où vient donc cet ingrédient ? Huit années durant, Gaston Giuliani, de l'Institut de recherche pour le développement, avec Virginie Garnier et Daniel Ohnenstetter, du centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy, ont mené l'enquête. Ils viennent enfin de résoudre l'énigme.

Situés pour la plupart dans des régions en conflit ou politiquement sensibles depuis les années cinquante, les grands gisements asiatiques sont longtemps restés inaccessibles. « Par analogie avec les autres gisements du monde, on expliquait leur genèse par la présence de fluides associés à la mise en place de granites dans les marbres. La présence de filons de roches magmatiques dans ces marbres allait dans ce sens, explique Gaston Giuliani. Mais cette hypothèse ne résiste pas aux observations les plus récentes : ces filons sont en effet plus vieux que les gisements eux-



LES MARBRES SONT RÉDUITS EN MORCEAUX DE PLUS EN PLUS FINS pour repérer les précieuses pierres rouges, donnant à l'environnement immédiat toutes les apparences d'un paysage fraîchement enneigé...

mêmes. Les expéditions et les analyses que nous avons menées depuis 1997 nous ont conduits à un scénario bien plus complexe. »

Solution salée

Nous l'avons dit : le rubis est la variété rouge d'un oxyde d'aluminium. Sa couleur est due à la présence d'infimes quantités de chrome et de vanadium dans cet édifice cristallin. Mais cette composition chimique est somme toute assez banale. Sa rareté vient du concours de circonstances exceptionnelles que requiert sa formation : il ne cristallise qu'à haute température (entre 500 et 900 °C), dans un milieu non seulement riche en alumine mais aussi pauvre en silice, renfermant en outre du chrome et du vanadium. Dès qu'il y a de la

silice, d'autres minéraux (silicates d'alumine, feldspaths ou micas) se forment : ils épuisent les stocks d'aluminium et inhibent de ce fait la cristallisation des rubis.

Revenons à notre interrogation de départ : d'où vient l'aluminium ? C'est de l'intérieur même des rubis que sont venus les premiers indices. De minuscules inclusions de quelques dizaines de micromètres y sont piégées. Elles contiennent des gouttes du fluide originel capturées par les rubis lors de leur croissance [3]. En les passant au crible de la sonde Raman, les trois chercheurs, en collaboration avec Jean Dubessy, de l'UMRGR de Nancy, ont découvert que ce fluide était, entre autres, riche en sulfure d'hydrogène, en soufre natif et en dioxyde de carbone. Ce n'est pas tout. L'analyse chimique des fluides récupérés après écrasement des rubis a révélé la présence de chlorures, de sulfates et de nitrates. Autant de composés qui n'entrent pas dans la structure propre des rubis. D'où viennent-ils ?

Les pétrologues se lancent dans une longue quête. « Après plusieurs dizaines d'heures d'observations au microscope électronique à balayage, nous avons finalement repéré de minuscules cristaux d'halite (notre sel de cuisine) et d'anhydrite, un sulfate de calcium, dont la taille varie entre 50 à 100 micromètres », raconte : »

Si sels il y a eu, la question est de savoir où ils sont passés. Ils restent quasi introuvables à l'œil nu



BIEN QUE DE PETITE TAILLE, les rubis d'Asie sont d'une qualité exceptionnelle, car ils contiennent peu d'inclusions.

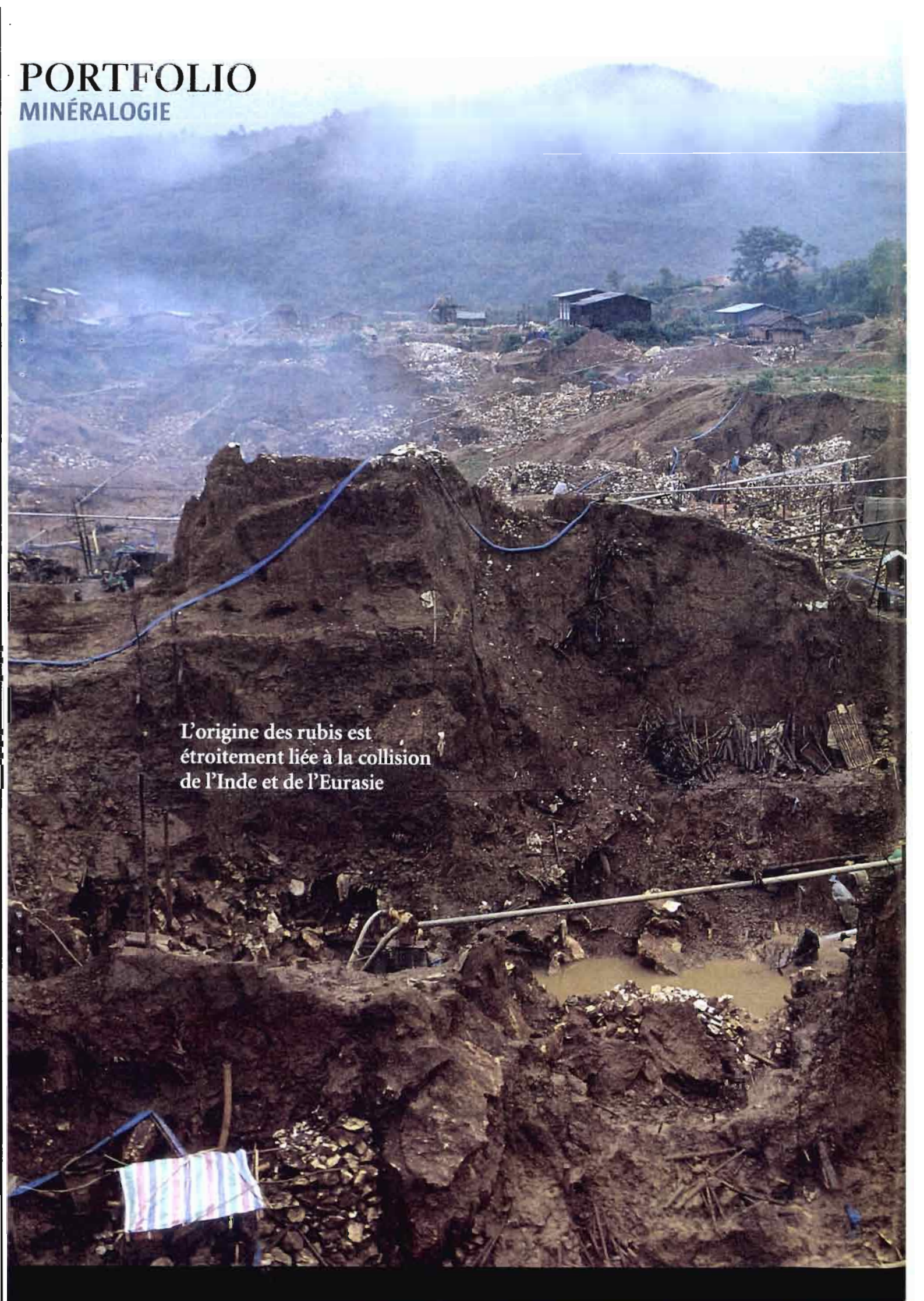
[1] J. Kessel, *La Vallée des rubis*, 1955

[2] A. Mécher et al., *Journal of Asian Earth Sciences*, 24, 265, 2002

[3] G. Giuliani et al., *Chemical Geology*, 194, 167, 2003

PORTFOLIO

MINÉRALOGIE



L'origine des rubis est
étroitement liée à la collision
de l'Inde et de l'Eurasie



**UNE VÉRITABLE FIÈ-
VRE A ÉTÉ DÉCLENCHÉE**
par la découverte d'un
rubis près du paisible
village de Tchaïpin (à
l'ouest de Mogok) : des
dizaines de tranchées
ont rapidement été
creusées dans les allu-
vions environnantes
pour y récupérer les
gemmes, issues de l'al-
tération des marbres
qui ont été déposés là,
il y a bien longtemps,
par les cours d'eau.



DANS CES MINES À CIEL OUVERT DE TCHAIÏPIN, les mineurs utilisent l'eau pour déblayer la terre stérile et délayer le bayon, c'est-à-dire la terre contenant les pierres précieuses. La boue ainsi obtenue est dirigée sur des grilles de plus en plus fines. En fin de journée, ou le lendemain matin, les gravats recueillis sont triés un par un à la main.

↪ Gaston Giuliani. Un résultat inattendu ! Ce sulfate de calcium est en effet caractéristique des dépôts salifères. Or, ces derniers se forment dans des conditions particulières, lorsque les eaux (douces ou marines) s'évaporent à un point tel que les sels dissous qu'elles contiennent se concentrent jusqu'à saturation. Les « évaporites », c'est-à-dire les sels produits par l'évaporation, précipitent alors et s'accumulent. De tels dépôts s'observent en de nombreux points du Globe : dans le golfe de Karabogaz, en bordure de la mer Caspienne, au lac Tchad,

en Afrique, dans certains lagon d'Australie ou encore au niveau du bassin de Quaidam, en Chine. Sur le terrain, pourtant, ces évaporites n'en restent pas moins introuvables ! Pourquoi ? Il faut préciser que les sels, très solubles, sont parmi les premiers à s'altérer. S'il en reste, ils sont donc forcément rares. Et comme leur couleur blanche se confond avec celle des marbres, il est quasi impossible de les repérer à l'œil nu ! Mais la chance a souri aux chercheurs. Sous l'objectif du microscope, ils ont fini par découvrir, dans les marbres, des cristaux

[4] V. Garnier et al., *Journal de Chemical Geology*, 188, 33, 2002.

[5] V. Garnier et al., *Journal de l'Association française de gemmologie*, à paraître.

[6] A. Cheilletz et G. Giuliani, « Comment se forment les émeraudes », *La Recherche*, novembre 1997, p. 48.

d'anhydrite. D'autres indices suivent. « L'analyse chimique des minéraux qui accompagnent le rubis (des silicates comme les tourmalines, les amphiboles ou les micas) a révélé la présence systématique de fluor, un élément qui témoigne lui aussi de dépôts salins. En outre, les phlogopites, des silicates très riches en magnésium de la famille des micas noirs, contiennent ici du sodium et non du potassium comme c'est généralement le cas. Une particularité que l'on retrouve seulement en quatre endroits dans le monde, là où il y a des évaporites », souligne Daniel Ohnenstetter. Les données géochimiques délivrent un message identique : l'abondance des diverses formes de l'atome de bore dans les tourmalines et celles du soufre dans les anhydrites sont en effet typiques des roches salines.

Une rareté expliquée

Le résultat est là : le fluide nourricier qui a donné naissance aux rubis provient de la dissolution d'évaporites, lesquelles étaient intercalées dans les marbres. Cette dissolution coïncide avec un épisode très particulier de l'histoire de la Terre. En datant les roches et les minéraux piégés dans les rubis, les chercheurs ont en effet montré que les gisements se sont tous formés entre -45 et -5 millions d'années, au cours d'un bouleversement géologique important : la collision de l'Inde et de l'Eurasie, et la naissance de la chaîne himalayenne [4].

Le scénario prend forme dans l'esprit de Virginie Garnier et de ses collègues [5]. Dans un passé très lointain, voici plus de 250 millions d'années, la région était occupée par des lagons peu profonds et des deltas alimentés par la mer et les rivières. Petit à petit, les sédiments charriés par ces dernières s'accumulaient sur le fond, se mêlant aux dépôts calcaires d'origine marine. Ces lagons étaient partiellement isolés et, sous l'action de la forte évaporation, se sont mués en grands lacs de saumures.

Lors de la collision entre l'Inde et l'Eurasie, les empiements sédimentaires – où alternent calcaires, grès et sels – ont été comprimés, chauffés. Les grès se sont transformés en quartzites, les calcaires en marbres. Et les évaporites ? Entre 600 et 650 °C et à des pressions de l'ordre de 3000 fois la pression atmosphérique, les sels se sont mis à fondre. Le contact entre les marbres environnants et ce fluide salin chaud (à base de sulfates, de fluor, de sodium, etc.) est « explosif ». Des réactions chimiques s'enclenchent, car les marbres sont impurs. Comme le souligne Gaston Giuliani : « *Ils contiennent toujours suffisamment d'aluminium, de chrome, de vanadium, et même de graphite issu de la transformation de la matière organique. À leur contact, les sulfates du fluide sont réduits en sulfure d'hydrogène, tandis que le graphite des marbres est oxydé en dioxyde de carbone.* » Cette réaction, connue sous le nom de thermoréduction des sulfates, avait déjà permis d'expliquer, voici quelques



LES FEMMES ET LES ENFANTS PEUVENT FOUILLER LES EAUX BOUEUSES s'écoulant à l'extérieur des mines. Ce privilège, le *kinase*, leur fut accordé autrefois par les rois birmans. Les marchés offrent l'occasion à ces femmes de vendre leur butin.

années, la genèse des fameuses émeraudes de Colombie [6]. « Le fluide se charge progressivement de l'aluminium, du fer, du chrome et du vanadium des marbres. Comme ces roches sont imperméables, il ne peut migrer et reste sur place. Le rubis cristallise alors au cœur des marbres, dans les cavités où logeaient auparavant les évaporites. »

La présence d'évaporites constitue donc un élément clé de la genèse des rubis. Dispersées sous la forme de lentilles dans les marbres, elles sont rares. C'est donc leur rareté qui explique le très petit nombre de gisements répertoriés et leur faible extension géographique: sans ces lentilles salines, pas de rubis! Nul doute que cette découverte sera mise à profit par les prospecteurs de nouveaux gisements... ■■ F. L.

Reportage photo : Christophe Lepetit

POUR EN SAVOIR PLUS

V. Garnier et al.,
Le Règne minéral,
55, 7, 2004.

■ F. Ward, *Rubies and Sapphires*, Gem Book Publishers, Bethesda, 1992.

■ R.W. Hughes, *Ruby and Sapphire*, RWH Publishing, Boulder, 1997

Lemarchand F., Giuliani Gaston (collab), Ohnenstetter D.
(collab) (2004)

Le sel des rubis

La Recherche, (379), 80-87

ISSN 0029-5671