



# Fulgurites et verres naturels

Pierres de foudre, de feu et de choc



©Copyright - photo Alex Hermant

Collection de minéraux  
de l'université Pierre et Marie Curie

4 Place Jussieu - 75005 Paris

## Remerciements

Ce fascicule a été réalisé comme le guide de l'exposition « Fulgurites et verres naturels – Pierres de foudre, de feu et de choc » qui s'est déroulée du 1<sup>er</sup> août au 31 décembre 2007, au sein de la Collection de Minéraux de Jussieu qui dépend de l'Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux condensés (IMPMC) de l'université Pierre-et-Marie-Curie (UPMC, Paris VI).

La réalisation de cette exposition et de ce fascicule a bénéficié de l'appui des personnes citées ci-après. Qu'elles soient ici vivement remerciées.

François Farges, professeur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris (MNHN)

Brigitte Zanda, maître de conférences au Muséum national d'histoire naturelle

Manuel Moreira, professeur à l'université Denis-Diderot, chercheur à l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPG)

Edmond Diemer, géophysicien et collectionneur

Charles Boyer, collectionneur  
Alex Hermant, Musée de la foudre

De Vulcania, Catherine Damesin, directrice, Jean Mallot, président, et Philippe Dupont

Patrice Lebrun, géologue et rédacteur en chef de *Minéraux & Fossiles*

Didier Glatigny, collectionneur



Fulgurite bifide.  
Désert libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).

Page ci-contre :  
Tectite géorgite.  
Dodge Co., Géorgie,  
États-Unis.  
(Coll. A. Carion).

Alain Carion, Laurence Galois,  
Jean-Claude Boulliard et Rémi de La Tullaye

# Fulgurites et verres naturels

## Pierres de foudre, de feu et de choc



# INTRODUCTION

---

## Qu'est-ce qu'un verre ?

Le verre usuel est une matière bien étrange : il est dur comme la pierre, transparent comme l'eau, résistant à la plupart des produits chimiques, facile à façonner ou à mouler (car il se ramollit à partir de 500 °C). Le verre se retrouve partout autour de nous : il compose les vitres. Ses usages domestiques sont nombreux. Sous forme de fibres, il est un excellent isolant. Les industries de pointe l'utilisent aussi pour les lasers et la conquête spatiale. Il serait certainement la meilleure solution pour le confinement des déchets nucléaires. De plus c'est un matériau (souvent) bon marché.

D'un point de vue chimique, les verres sont des matériaux très variés contenant des oxydes de silicium (surtout), de bore et/ou de métaux (sodium, calcium, plomb) ainsi que d'autres molécules (carbonate de sodium, fluorure de calcium, etc.). Ils sont souvent très proches (chimiquement) de minéraux naturels ou de matériaux fabriqués par l'homme qui peuvent avoir une transparence comparable mais qui sont souvent fragiles et/ou difficiles à façonner.

La différence entre les verres et les autres matériaux est due à l'organisation des atomes dans la matière. La plupart des matériaux sont des cristaux ou des agrégats de cristaux plus ou moins petits.

Les cristaux, qui n'ont pas été gênés durant leur croissance, présentent des formes étonnantes, géométriques et bien définies. Qui n'a pensé, en effet, que les magnifiques cristaux exposés dans les collections étaient recoupés voire polis, avant d'être exposés ? Il n'en est rien : ces formes sont l'une des manifestations d'une structure à l'échelle atomique qui obéit à un agencement des atomes particulier, régulier (ou plus savamment périodique), s'étendant généralement avec peu de défauts à grande échelle et dans les trois dimensions de l'espace. Grâce aux structures cristallines, on peut comprendre la forme spécifique des cristaux. On peut aussi comprendre leurs caractéristiques comme la cassure plane facile (le clivage), la biréfringence (le dédoublement des images au travers d'un cristal), le polychroïsme (les variations de teintes ou de couleurs avec l'angle d'éclairage), etc.

Pour le verre, il n'existe pas d'agencement précis et régulier des atomes. Ils sont désorganisés et différemment espacés, à l'échelle atomique et à plus grande échelle. On dit que l'on a une structure amorphe qui est comparable à ce que serait la structure d'un liquide figé. Ceci, ajouté à une forte malléabilité du matériau en température, se traduit par une absence de forme géométrique caractéristique.

## Comment fabrique-t-on du verre ?

Pour fabriquer du verre, il faut liquéfier un matériau minéral et l'empêcher de cristalliser lorsqu'il se solidifie (on ne parlera pas ici des verres organiques qui forment un autre sujet). Dit ainsi, cela paraît simple : il suffit de refroidir le liquide suffisamment rapidement pour que les cristaux ne se forment pas. Les difficultés apparaissent lorsque l'on veut que ce matériau soit dur, transparent, incolore et inaltérable. Dans la nature, les minéraux (cristallisés) transparents sont assez rares. Ceux qui sont transparents et incolores sont beaucoup plus rares. Les seuls vraiment fréquents sont quelques carbonates comme la calcite (le constituant de la craie), le gypse (la pierre à plâtre) et le quartz (le constituant du sable). Seul le quartz est suffisamment dur et inaltérable. Le problème est qu'il fond à environ 1 800 °C, ce qui est une température élevée qui pose de nombreux problèmes technologiques. Heureusement, il existe certains corps chimiques (naturels ou non) qui fondent à plus basse température et qui, une fois liquide, peuvent dissoudre le quartz. Ce phénomène de dissolution est assez similaire à celui du sel de cuisine qui fond vers 800 °C mais qui se dissout dans l'eau à température ordinaire. Une fois le quartz dissout, on refroidit le liquide et on obtient un verre. Ces produits chimiques (minéraux naturels ou produits par l'homme) dissolvant des matériaux qui se liquéfient à haute température s'appellent des fondants : les plus connus pour le verre sont le natron (carbonate de sodium), la calcite, la soude, la fluorine (un fluorure de sodium) ou les composés de bore (borax, oxyde de bore, ...). Les cendres des plantes (potasse) forment aussi un fondant acceptable (utilisé dans les temps anciens). Avec les fondants, la fabrication du verre peut s'effectuer à partir de températures voisines de 1 000 °C. La plupart des verres de la vie courante sont produits à partir de silice (dont la forme cristallisée courante est le quartz). Il en existe un grand nombre de variétés. Lorsqu'on ajoute de l'oxyde de plomb, on obtient du verre « cristal ». Avec l'adjonction de bore, le verre résiste au chaud et froid imposés dans les pratiques culinaires, mais il est plus altérable. On a connu aussi des verres à l'arsenic (proches du cristal) ou à l'uranium (qui produit une belle couleur verte).

## Quand l'homme a-t-il découvert le verre ?

On ne sait pas exactement quand l'homme a découvert la fabrication du verre. On sait par contre que les Égyptiens, Syriens, Phéniciens, Assyriens, Babyloniens, Grecs et Romains réalisaient des objets en verre. Pline-l'Ancien (23-79 après J.-C.) raconte que le verre aurait été découvert fortuitement trois millénaires avant lui, sur une plage de la mer de Judée, près de l'embouchure du fleuve Bélus. Après un naufrage des marchands phéni-



ciens voulurent faire du feu. Ne trouvant pas de pierres pour surélever la marmite, ils auraient utilisé des pierres de natron de leur cargaison (ce carbonate de soude servait à l'époque pour conserver les momies). Le lendemain matin, ils auraient retrouvé des perles de verre dans les restes du foyer. Cela n'est certainement qu'une légende, car il est peu probable que leur feu de camp, à l'air libre, ait pu permettre d'atteindre la température de 1 300 °C nécessaire pour la formation de ce type de verre.

Nous savons que les Mésopotamiens et les Égyptiens connaissaient déjà les techniques rudimentaires de la fabrication du verre en 2 700 av. J.-C. Par extrapolation, on s'accorde à dater la découverte du verre vers 4 000 av. J.-C.

Pourtant l'homme, sans le savoir, utilisait du verre depuis plus longtemps. Il existe en effet des verres formés naturellement. En Europe, il y a 29 000 ans, l'homme de Cro-Magnon taillait un verre naturel, la moldavite, pour fabriquer des outils. On en a retrouvé des éclats dans le site préhistorique de la Vénus de Willendorf en Autriche. En Égypte, on a retrouvé des outils préhistoriques en verre libyque datés de 200 000 ans. Ces deux exemples sont des verres formés par les chutes de météorites. L'obsidienne, ou verre de volcan, est beaucoup plus répandue ; elle a été beaucoup plus utilisée, depuis la préhistoire jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. On retrouve partout de part le monde des outils, des couteaux et des pointes de flèches taillés dans de l'obsidienne. Ils ont été particulièrement abondant dans l'Amérique précolombienne.

Bouteille en verre irisée  
d'origine romaine. Liban.  
(Coll. L. Carion).

Outil préhistorique en  
obsidienne. Crump Lake,  
Oregon, États-Unis.  
(Coll. Howe/coll. A. Carion).



## LES VERRES NATURELS

Les verres naturels sont d'autant plus précieux qu'ils sont rares. Ils ne doivent rien à l'activité humaine. Ils se forment à partir de matière minérale silicatée fondue qui a refroidi suffisamment vite pour qu'il n'y ait pas de formation de cristaux. On distingue trois grandes familles de verres naturels. Les fulgurites ou « pierres de foudre », sont formées par la foudre qui vitrifie le sable ou la roche terrestre. On trouve également les verres volcaniques ou « pierres de feu » : ce sont les verres naturels les moins rares, ils sont issus du volcanisme. Il y a enfin les tectites et les impactites vitreuses ou « pierres de choc » issues de l'impact d'une météorite.

La plus belle fulgurite  
jamais trouvée dans le  
désert libyque avec une  
longueur totale de 15 m.  
Décembre 1995.



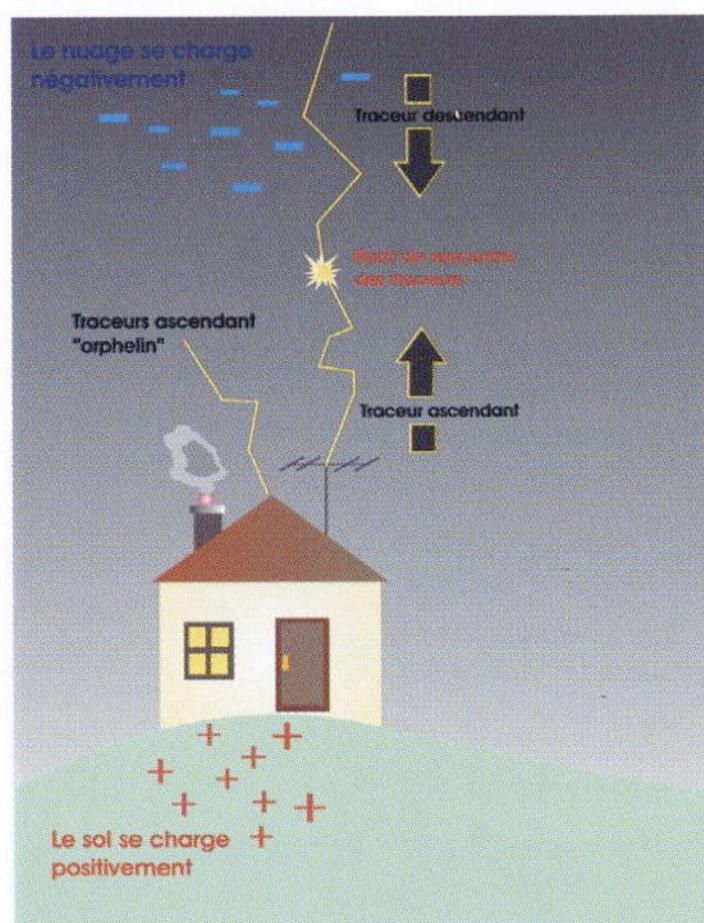
# LES FULGURITES : PIERRES DE Foudre

Lors de leur découverte au XVII<sup>e</sup> siècle, les pierres que l'on appelle fulgurites (du latin fulgur, éclair) furent considérées comme de bien étranges objets géologiques. On sait maintenant qu'elles sont produites par l'impact de la foudre sur une roche. Les fulgurites les plus connues résultent de la rencontre explosive entre un puissant éclair orageux et un sol sableux (et plus rarement une roche comme le granite). Pour bien comprendre leur genèse, il faut revenir sur la foudre, ce phénomène courant mais très complexe qui contient encore aujourd'hui une part de mystère et d'inconnu.

## La foudre

D'une manière extrêmement simplifiée, la foudre est un gigantesque court-circuit entre un type de nuage particulier, appelé cumulo-nimbus, et le sol. Dans la majorité des cas, cette décharge électrique a lieu entre la base d'un nuage chargé négativement et le sol qui, de ce fait, se retrouve chargé positivement.

Une explication un tant soit peu plus avancée devient vite complexe. L'air contient une très petite quantité d'électrons libres éjectés des atomes par le rayonnement cosmique. Dans des conditions orageuses, un puissant champ électrique provoqué par le frottement des gouttelettes va apparaître entre le nuage et le sol. Les électrons situés dans ce champ se mettent en mouvement, attirés inexorablement par la charge positive du sol. Leur accélération sera d'autant plus rapide que le champ est important. Arrivés à une certaine vitesse, les chocs entre électrons et atomes vont être tels qu'ils vont arracher d'autres électrons, générant ainsi une réaction en



Granite foudroyé.  
Canton d'Uri, Suisse.  
(Coll. R. Bühler /  
coll. E. Diemer).



chaîne appelée « cascade électronique ». Un canal conducteur (formé de particules chargées, des ions) va alors partir du nuage et se diriger vers le sol. Cette véritable autoroute électrique est appelée le traceur descendant. A l'approche du sol, le traceur descendant va provoquer une concentration de charge positive au sol à l'origine de l'apparition d'un autre traceur : le traceur ascendant. Si les traceurs descendants et ascendants se rejoignent, nuage et sol vont se trouver directement connectés. On atteint ce qu'on appelle le « point de claquage ». On observe alors la formation d'un arc en retour partant du sol vers le nuage : la foudre.

C'est un phénomène très bref : la totalité des étapes ne prend que quelques centièmes de secondes.

L'énergie libérée par un éclair est considérable. On estime que chaque éclair libère en moyenne un milliard de Joules (de quoi porter à ébullition 24 tonnes d'eau). Elle s'exprime sous forme de lumière et de chaleur. La température de l'air atteint momentanément 10 000 °C et parfois même 30 000°C. Le maximum du courant mesuré va de 10 000 à 100 000 ampères mais ne dure que quelques microsecondes. Une grande partie de cette énergie va se dissiper dans l'air et seule une fraction sera transmise au sol.

## Le sable

Les fulgurites produites par un impact sur le sable sont les plus spectaculaires et les moins rares. Le sable est une roche meuble constituée de grains de différentes natures dont la taille est comprise entre 62,5 micromètres et 2 millimètres. Le sable résulte de la désagrégation de matériaux rocheux durs comme le granite. Certains sables très purs ont une composition très homogène en silice (ici, du quartz) et peuvent être constitués à plus de 99 % de grains de quartz. C'est le cas de la plupart des sables désertiques, mais aussi du fameux sable de Fontainebleau.

## Les fulgurites

Un impact de foudre sur un sol sableux très riche en silice provoque un échauffement intense et très local (supérieur à 3 000 °C). Sous l'effet de cette chaleur, la fusion du sol est instantanée. Le refroidissement qui s'en suit est tout aussi brutal et la silice fondue se fige pour former un verre naturel très pur nommé « lechatelierite » par A. Lacroix qui étudia ce phénomène dès 1915 (Le Chatelier était un ingénieur des mines français). Un tube creux de verre se forme dans le sable : il constitue une sorte d'empreinte du passage de l'électricité. Certaines fulgurites tubulaires connues dépassent huit mètres, mais leur récupération est impossible : elles sont trop fragiles et sont le plus souvent trouvées en fragments de 10 à 15 cm, avec des diamètres variant de 5 à 20 mm.

La foudre peut aussi vitrifier d'autres roches dénudées comme le granite. Ces roches vitrifiées sont bien connues des alpinistes mais restent très rares car elles sont vite altérées par les agents atmosphériques.

Les fulgurites peuvent être découvertes dans tous les déserts mais s'altèrent vite. Elles ont été trouvées en relative abondance au pied des dunes de la Grande mer de sable dans le sud-ouest de l'Égypte.

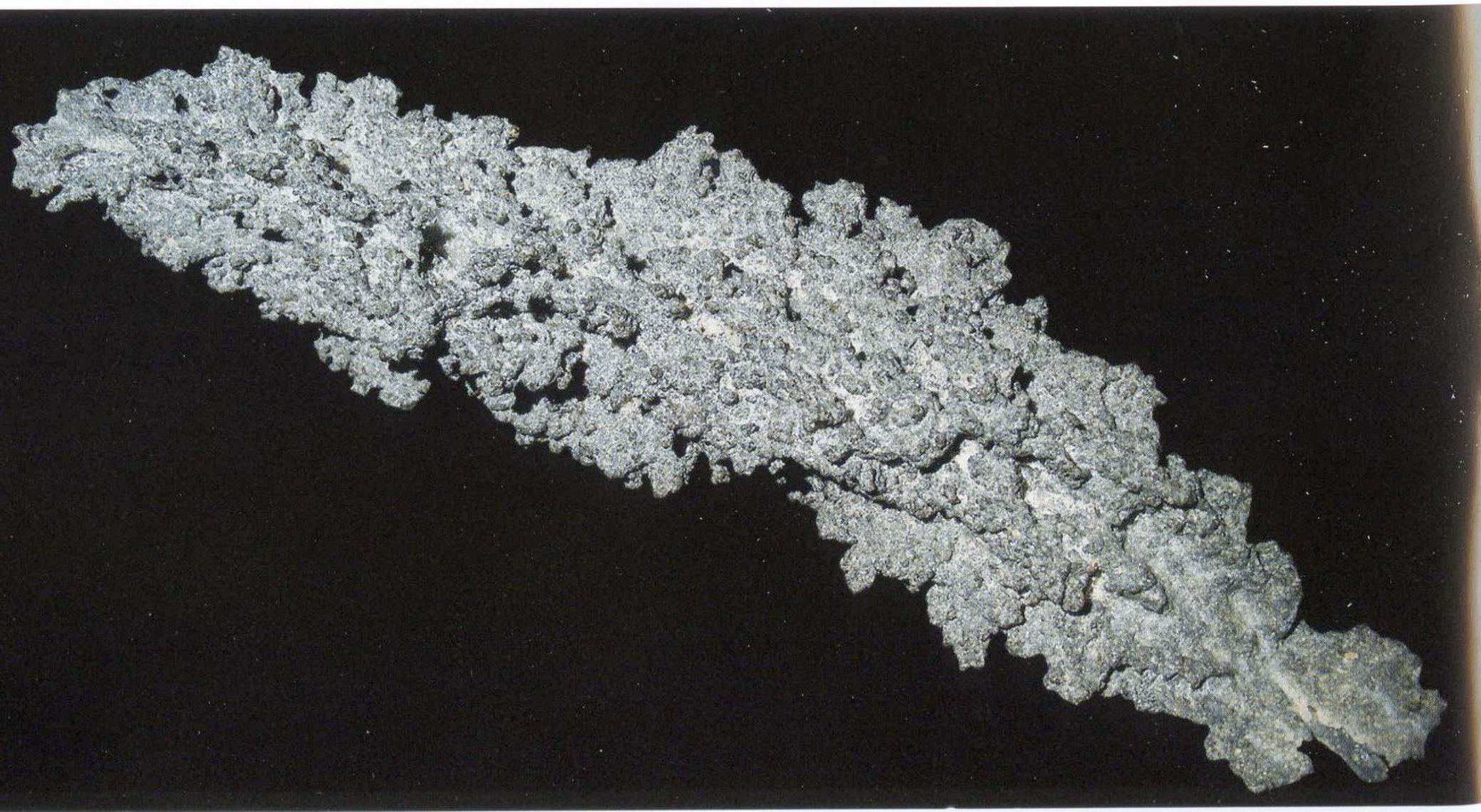
## Les fulgurites du désert libyque : empreintes du passé

Les fulgurites du désert libyque posent un problème. Elles se trouvent en abondance dans des zones désertiques où les orages sont extrêmement rares, trop rares en tout cas pour expliquer la grande quantité de fulgurites

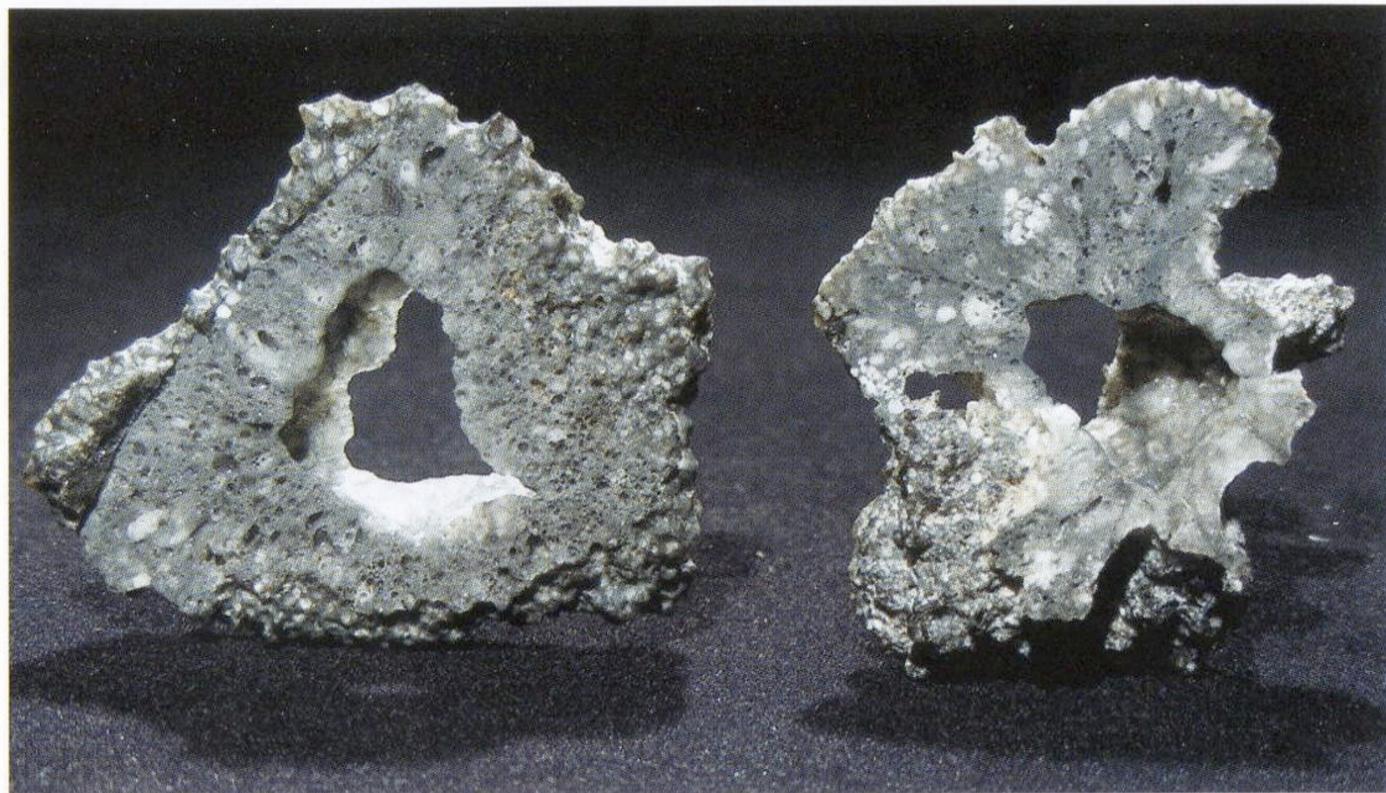


Une belle récolte de fulgurites en Égypte. Décembre 1995.

Fulgurite.  
Désert libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).



Sections de fulgurites.  
Désert libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).



Louis Carion devant un  
champ de fulgurites.  
Décembre 1995.

Louis Carion et Michel  
Chandeigne recherchent  
la racine d'une fulgurite.  
Décembre 1995.



présentes. Aujourd'hui, le gros de l'activité orageuse est confiné au nord du désert libyque dans la zone « méditerranéenne » et au sud, dans la zone subtropicale. Les orages et par conséquent les impacts de foudre y sont très fréquents. Les conditions climatiques actuelles ne permettent pas d'expliquer la présence des fulgurites dans le désert libyque.

Pour résoudre cet épineux problème, il est nécessaire de prendre en compte un critère fondamental : l'âge des fulgurites. La datation des fulgurites du désert libyque a donc été effectuée en les analysant par la méthode de thermoluminescence. Les âges sont obtenus avec une bonne précision et donnent des valeurs variant de 14 000 ans à 16 000 ans. Les fulgurites sont donc des objets assez anciens.

Leur âge démontre que le climat de cette région désertique très aride a changé depuis 15 000 ans. Les fulgurites témoignent de la présence d'un climat soit méditerranéen, soit subtropical. Ces données sont compatibles avec les peintures rupestres observables dans la région et datées de cette même période. Elles représentent des animaux et une végétation caractéristique des climats humides subtropicaux. La théorie de l'évolution climatique menant à la désertification de la région vient donc de trouver un nouveau soutien : les fulgurites.

# LES VÉRRES VOLCANIQUES : PIERRES DE FEU

---

Les verres issus de l'activité des volcans se classent en deux catégories bien différenciées: les verres de basaltes et les obsidiennes ou verres rhyolitiques. La différence fondamentale entre ces deux types de verres vient de leur composition chimique.

## Les verres de basalte

Les verres de basalte sont liés au volcanisme basaltique de type hawaïen ou à celui des volcans des fonds océaniques.

Le verre de basalte contient de 45 à 52 % de silice, de 10 à 20 % d'alumine (un oxyde d'aluminium), des métaux alcalins (sodium, potassium), des métaux alcalino-terreux (calcium et magnésium), du fer (10 %) et de l'eau (0,5 à 3 %). La très faible viscosité des verres basaltiques est liée à la faible teneur en silice et induit, la plupart du temps, une forte cristallisation à l'air du liquide silicaté. Pour former un verre, ce liquide très fluide doit se solidifier très rapidement. Ces verres sont donc relativement rares, et sont trouvés en général près des plages car seule une trempe dans l'eau peut permettre d'obtenir des échantillons homogènes qui restent cependant de petite taille (limu hawaïen). On trouve également ces verres par récolte directe sur le fond des océans près des rides océaniques. Lorsque les éruptions sont terrestres et loin d'une étendue d'eau, on peut trouver des blocs de lave dont la surface est vitrifiée par un refroidisse-

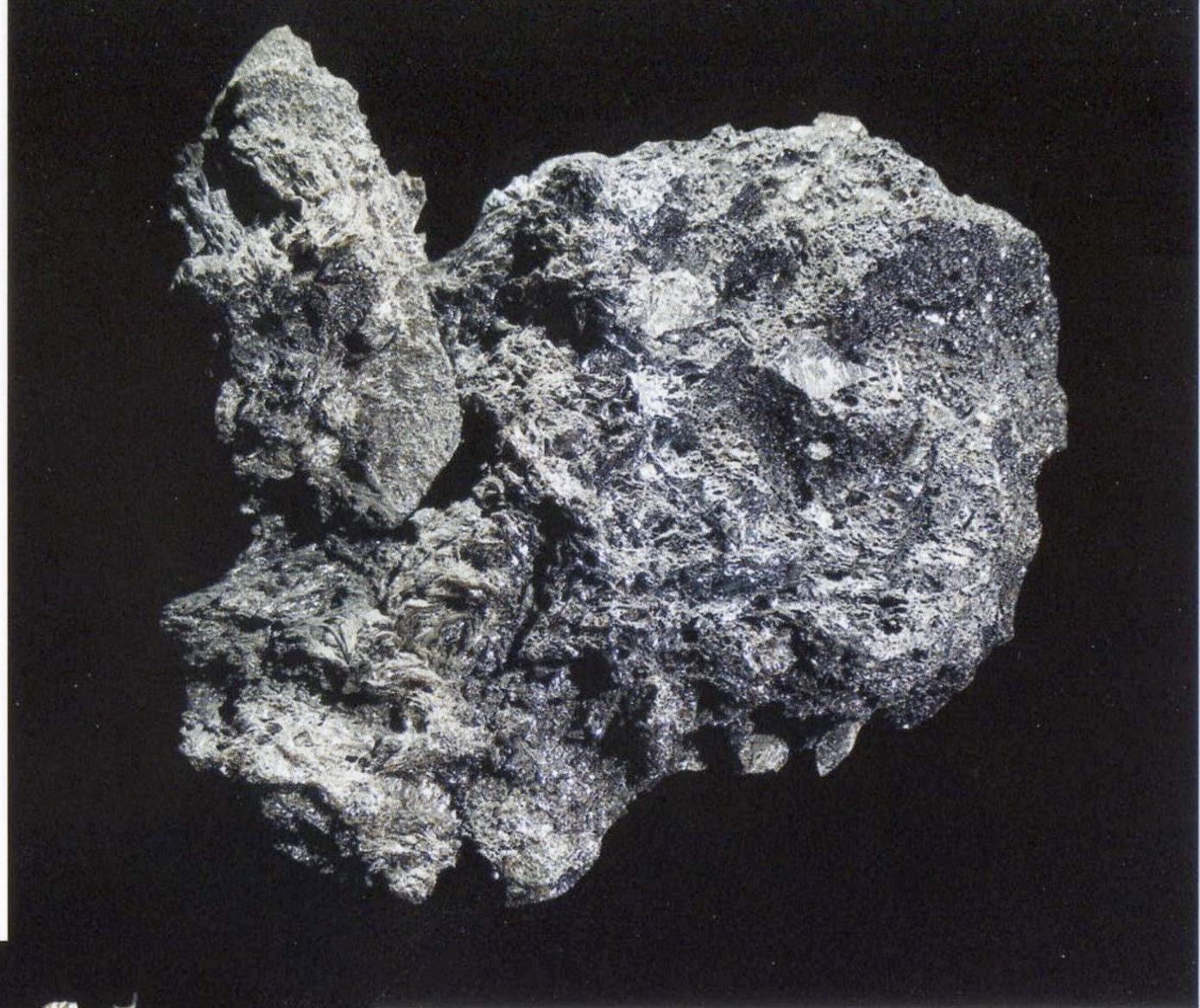
Cheveux de Pélé.  
Erta' Ale, Éthiopie.  
(Coll. Jussieu).



Lave Irisée.  
Volcan de la Teidje,  
Ténériffe, Îles Canaries.  
(Coll. A. Carion).



Lave phonolitique  
avec anorthoclase.  
Lac de lave du mont  
Erebus, Antarctique.  
(Coll. Jussieu).



ment rapide au contact de l'air. L'épaisseur est cependant micronique. On trouve enfin ces verres sous forme de gouttelettes ou de fibres lorsque le liquide silicaté basaltique est projeté dans l'air et filé à grande vitesse (larmes et cheveux de Pélé, du nom de la déesse hawaïenne du feu et des volcans). Lorsque des bulles de taille micronique se forment dans le liquide silicaté et éclatent, il ne reste qu'un fin réseau de verre entre les pores. On forme alors une réticulite, sorte de mousse de verre très légère, très rarement trouvée du fait de son extrême fragilité.

Réticulite.  
Hawaii, États-Unis.  
(Coll. Jussieu).

Verre basaltique récolté à  
-3 000 m. Central Indian  
Ridge, océan Indien.  
(Coll. Jussieu).





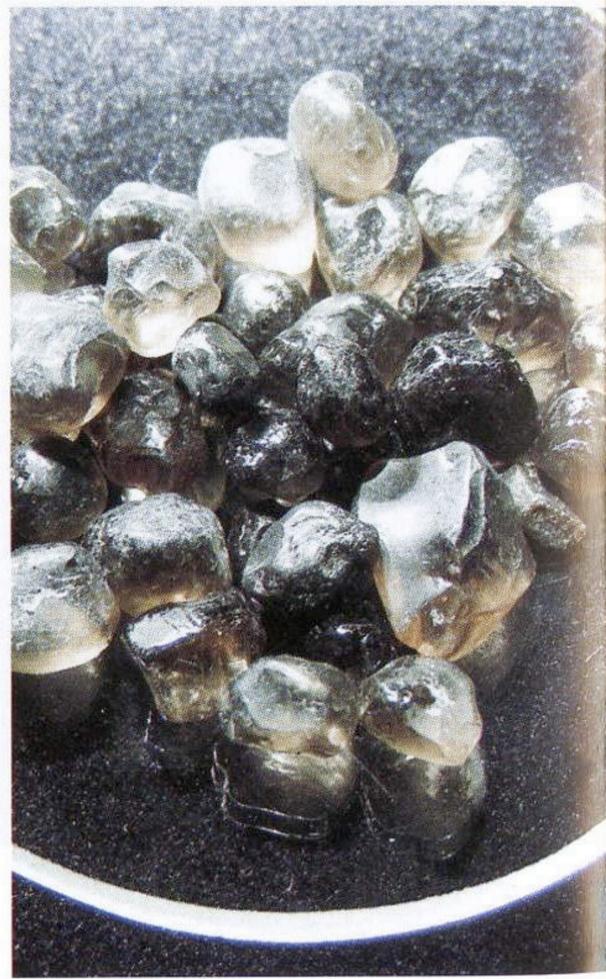
Obsidienne cantalite.  
Les Gardes, Plomb  
du Cantal, France.  
(Coll. C. Boyer).

## Les verres d'obsidienne

Ces verres possèdent une forte teneur en silice (75 à 77 %), une concentration non négligeable en alumine (10 à 15 %), des métaux alcalins (8 à 10 %) et un peu d'alcalino-terreux, une teneur en fer relativement faible par rapport aux verres basaltiques (0,2 à 1 %). La teneur en eau est variable (0,5 à 3 %).

Les obsidiennes sont liées au volcanisme terrestre de zones de collision ou de zones de subduction. Les volcans siliceux produisent différents types de verres :

1°) des verres siliceux qui se solidifient lentement en masse (à cause de leur très grande viscosité) à partir d'une température de 1 200 °C environ, sur des épaisseurs considérables (plusieurs mètres). Les coulées ont des extensions relativement faibles et des dômes de lave peuvent rester dans la cheminée. Le verre d'obsidienne est généralement transparent et gris-brun sous de faibles épaisseurs et quelques cristaux (oxydes de fer, silice, feldspaths et pyroxènes) sont visibles au microscope dans la matrice vitreuse.



Obsidiennes  
« larmes d'Apache ».  
Arizona, États-Unis.  
(Coll. Jussieu).



Marekanite dans perlite.  
Superior, Arizona,  
États-Unis.  
(Coll. Jussieu).

Larme d'obsidienne.  
Mont Pilato, île Lipari,  
Italie.  
(Coll. C. Boyer).



2°) Le volcanisme dit de « volcans gris » de certaines zones de subduction, produit également, lors d'explosions spectaculaires liées au dégazage du volcan, des verres siliceux sous forme d'échardes qui se soudent à haute température.

Les « larmes d'Apache » ou les marekanites résultent d'éruptions volcaniques en milieux aquatiques (lacs, mers fermées). Le liquide silicaté siliceux est refroidi extrêmement rapidement et le verre formé est fortement hydraté. C'est le matériau amorphe que l'on trouve sous le nom de perlite, exploité industriellement pour ses propriétés de matériau expansé. Au cœur des boules de perlites subsistent parfois un cœur d'obsidienne intact, non hydraté, brun-clair et très transparent.

Les obsidiennes ont généralement une couleur noire liée à la présence d'inclusions d'oxydes de fer, ou verte suivant la proportion de fer dans la

Pointe de flèche en  
obsidienne (actuelle).  
Mexique.  
(Coll. A. Carion).



matrice vitreuse. Toutefois, on trouve parfois des obsidiennes de couleur marron-rouille (obsidienne Mahogany) à cause de la présence d'inclusions d'hématite, ou piquetées de petits cristaux blancs de cristobalite (une des formes de la silice) d'où le nom d'obsidiennes « flocons de neige ». Les obsidiennes vertes « arc-en-ciel » résultent de la nucléation, en relation avec l'histoire thermique du matériau, de microphases (par exemple des cristaux d'hédenbergite) dans la matrice vitreuse. L'orientation préférentielle de ces microcristaux induit une diffraction de la lumière. Les obsidiennes du Mexique produisent souvent un tel effet. Lorsqu'on les façonne et les polit de manière appropriée, on voit des dessins en forme de cœur.

Lorsque les gaz contenus dans le liquide silicaté s'échappent lors de l'éruption, un matériau très blanc et extrêmement poreux est formé, c'est la pierre ponce. Très peu dense, elle peut flotter sur l'eau. De composition identique à celle de l'obsidienne, elle doit sa couleur blanche à la diffusion de la lumière sur les pores de sa structure.

Les verres volcaniques ne perdurent que peu à la surface de la terre. On trouve des verres centimétriques datés à 2 millions d'années, mais il faut des conditions très spécifiques de climat très sec. Certaines esquilles de verres milli- ou micrométriques perdurent encore dans des matrices cristallines de plus de 65 millions d'années. Cependant la plupart du temps, soumis à l'action de l'eau, les verres volcaniques se transforment très facilement en gels d'altération puis en phases cristallisées de différentes natures. Ainsi, l'hydratation des verres archéologiques est utilisée pour

Obsidiennes et ponce.  
De gauche à droite et de  
bas en haut :

Obsidienne « flocons  
de neige ».  
Chihuahua, Mexique.  
(Coll. A. Carion).

Obsidienne.  
Plage de Lipari, Italie.  
(Coll. A. Carion).

Obsidienne.  
Mahogany, Chihuahua,  
Mexique.  
(Coll. A. Carion).

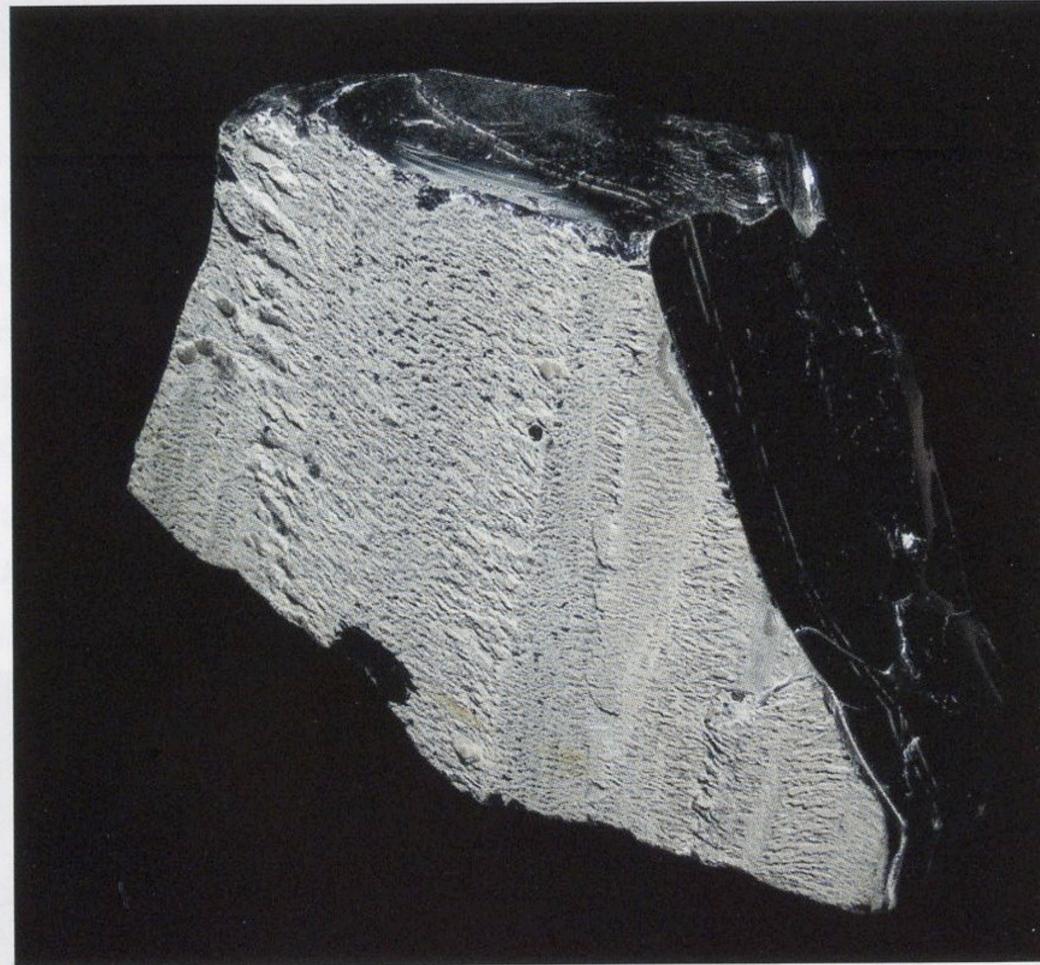
Obsidienne.  
Grande coulée,  
Lipari, Italie.  
(Coll. A. Carion).

Obsidienne.  
Vulcano, Italie.  
(Coll. A. Carion).

Obsidienne et ponce.  
Teide, Ténériffe,  
îles Canaries.  
(Coll. A. Carion).



Obsidienne zonée.  
Chihuahua, Mexique.  
(Coll. A. Carion).





Ponce. Lipari, Italie.  
(Coll. A. Carion).

dater les périodes d'utilisation des outils et autres fabrications. Les verres lunaires, quant à eux, ont été datés à 3,2 milliards d'années, du fait de l'absence d'atmosphère sur la Lune.

L'étude de ces verres volcaniques est très intéressante pour comprendre la mise en place des structures volcaniques et les conditions d'oxydo-réduction qui prévalaient à leur origine. Par ailleurs, ces verres sont également étudiés comme des analogues aux verres de déchets nucléaires afin de pouvoir prédire la tenue de ces verres synthétiques dans le temps.

Obsidienne rétinite.  
Vallée du Reyran,  
Var, France.  
(Coll. C. Boyer).

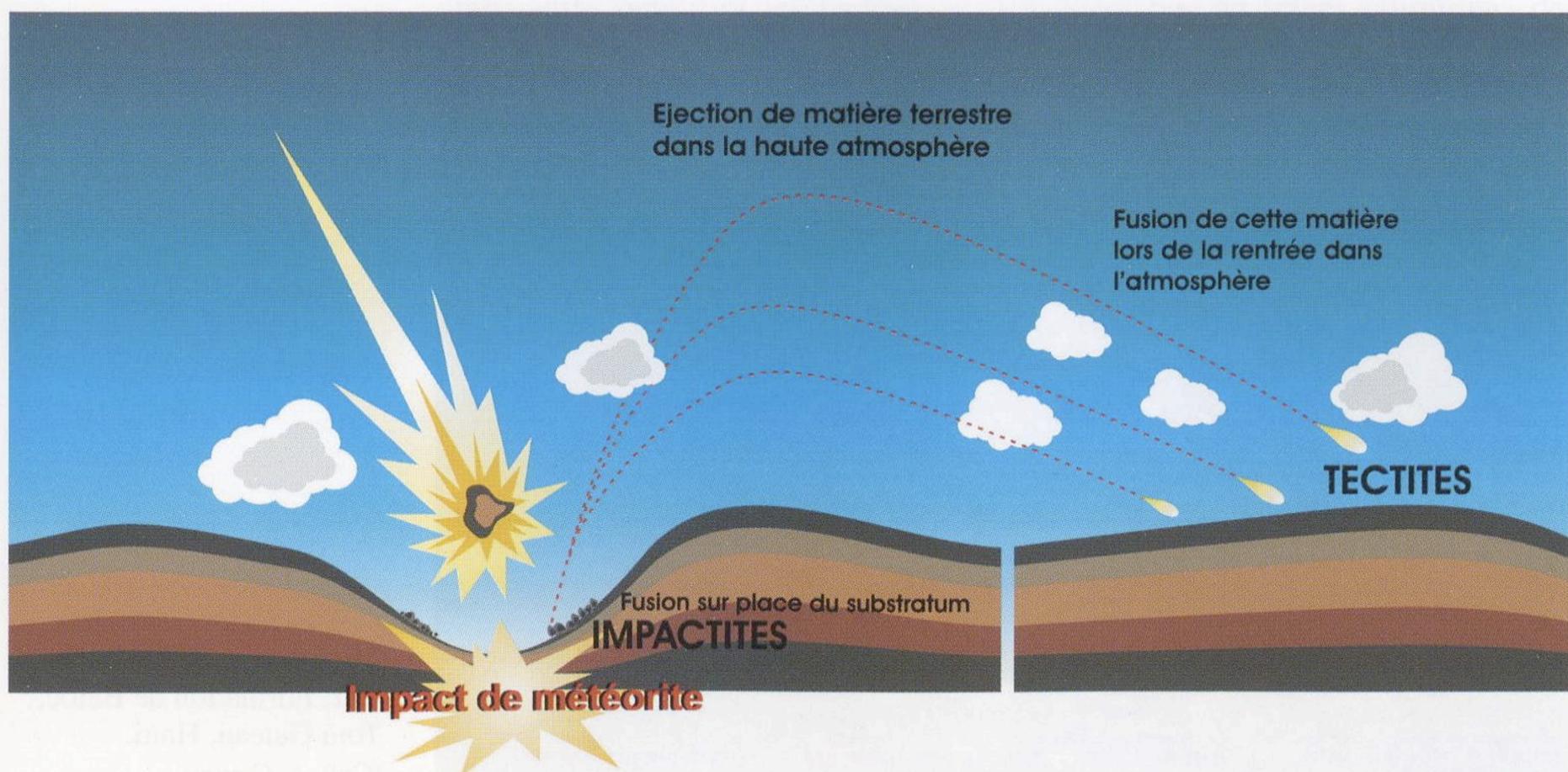


# LES TECTITES ET IMPACTITES : PIERRES DE CHOC

## L'impactisme

L'impactisme est sans doute le processus géologique le plus important de tout le système solaire, puisque des cratères d'impact s'observent sur tous les corps planétaires. Il est même à la base de la formation des planètes. En effet, il y a 4,57 milliards d'années, des collisions incessantes ont provoqué l'accrétion de planétisimaux qui ont eux-mêmes formé des embryons de planètes qui, grossissant elles aussi au gré d'autres multiples collisions, ont abouti aux planètes telluriques actuelles. L'homme a peur que le ciel lui tombe sur la tête et pour cause, plus de 200 tonnes de matériaux extraterrestres arrivent chaque jour sur Terre. Face aux météorites, l'atmosphère est le plus efficace des boucliers. Les objets de faible masse et de petite taille se consomment pour donner naissance à un bref météore (une étoile filante). Les météorites plus conséquentes (10 à 50 m de diamètre) explosent dans l'atmosphère, d'autant plus bas qu'elles sont plus grosses. Les corps plus volumineux, pierreux ou métalliques, parviennent jusqu'au sol. Très peu ralentis, ils s'y écrasent à une vitesse vertigineuse de plusieurs kilomètres par seconde. L'énergie du choc est telle que le corps impacteur est totalement volatilisé.

La grande famille des verres d'impact compte deux grandes catégories de membres : les tectites et les impactites vitreuses.



## Les tectites

Le mot tectite se base sur la racine grecque « tekton », ce qui signifie littéralement : fondu.

Il s'agit d'objets géologiques énigmatiques dont le mystère des origines n'a été percé que très récemment. Le premier écrit sur les tectites le fut par le Chinois Liu Sun en 950 de notre ère. Il les nommait lei-gang-mo ou « pierres noires », elles étaient récoltées après de fortes pluies, comme encore actuellement en Thaïlande et au Vietnam. En 1787, Joseph Mayer, professeur à l'université de Prague décrit la première moldavite et la nomme chrysolite (une variété d'olivine d'origine volcanique). En 1844, Charles Darwin s'intéresse aux tectites de façon scientifique et arrivera à la conclusion qu'il s'agit tout simplement d'obsidienne terrestre. Elles furent pendant longtemps classées sous le terme de « météorites vitreuses ». C'est F. E. Suess, géologue autrichien, qui en 1900 propose le terme « tectites ». Aujourd'hui, la communauté scientifique s'accorde dans sa grande majorité sur l'origine terrestre de ces roches. Pourtant, le lien avec les météorites est très loin d'être rompu.

Les tectites sont composées d'un verre siliceux contenant 70 à 80 % de silice et 9 à 16 % d'alumine, plus quelques éléments traces. Elles se distinguent par une faible teneur en fer.

L'origine des tectites est longtemps restée mystérieuse. Beaucoup de théories plus ou moins poétiques ont été émises à leur sujet. Certains voyaient en elle des « larmes de comètes » : des gouttes de silicates seraient « pleurées » par les comètes lors de leur passage à proximité de la Terre et tomberaient le long de leur trajectoire. D'autres voyaient en elles des morceaux de



Microtektite de la couche K/T. Formation de Beloc, Tom Gateau, Haïti. (Coll. A. Carion).

Lune arrachés lors d'un gigantesque impact ou expulsés par le volcanisme lunaire et retombés sur Terre après avoir été « satellisés ». Certains enfin les attribuaient à des phénomènes volcaniques terrestres et les assimilaient à des obsidiennes. Toutes ces hypothèses sont abandonnées.

Aujourd'hui, on sait que les tectites sont des verres d'impact liés à la formation de cratères supérieurs à 10 km de diamètre. La corrélation entre les grands champs de tectites et la présence d'astroblèmes (cratères d'impact) est souvent vérifiée (mais pas toujours !). Lors de l'impact, une certaine quantité de matériaux fondus peut être libérée de l'attraction terrestre si l'énergie impulsée initialement permet aux fragments d'atteindre une vitesse supérieure à la vitesse de libération qui, pour la Terre, est de 11 km/s. Une autre partie peut se trouver éjectée à plusieurs centaines de kilomètres de hauteur : cette matière est alors littéralement satellisée. Après un certain temps, ces fragments vont retomber sur terre en subissant de nouveau une fusion liée cette fois à la rentrée dans l'atmosphère terrestre. Durant cette phase, les tectites vont être refaçonnées pour acquérir des formes régulières : sphères, poires, gouttes ou boutons.

Les tectites sont les verres naturels les plus pauvres en eau, ce qui permet parfois de les différencier des obsidiennes. Cela s'explique par leur formation : les calculs ont montré qu'au moment de l'arrachement terrestre la température voisinait les 30 000 °C. On admet maintenant qu'elles se forment quelques nanosecondes avant l'impact. Si le cratère fait plus de 10 km de diamètre, la météorite incidente a un diamètre minimum de 500 mètres. Pour des objets incidents de cette taille, l'atmosphère n'est absolument pas un obstacle. La couche d'air comprimée entre la météorite et le sol est un plasma porté à des températures extrêmes ; il vitrifie la roche terrestre qui part en jets de matière latéralement juste avant l'impact, ce qui explique entre autre pourquoi les tectites ne possèdent pas de traces chimiques de l'impacteur incident.

Il y a actuellement quatre grands champs de tectites à travers le monde.

## La Côte-d'Ivoire

Ces tectites sont, sans doute, les plus rares dans nos collections. En fait, on les trouve dans les exploitations d'or au milieu de « placers » aurifères. Les sorciers et les chefs des tribus locales les gardent comme amulettes dotées de grands pouvoirs. On les appelle ivoirites. Elles sont noires, opaques, leur âge est déterminé entre 1,1 et 1,3 millions d'années. Le « cratère parent » serait celui de Bosumtwi, situé au Ghana, et qui a 10 km de diamètre. Autour de ce cratère, on trouve également des verres d'impact datés du même âge. Dès le début des années soixante, les Américains préparent la conquête spatiale. L'origine lunaire des tectites est encore très en vogue. Dans le cadre de leur projet d'alunissage, ils chargent un certain nombre



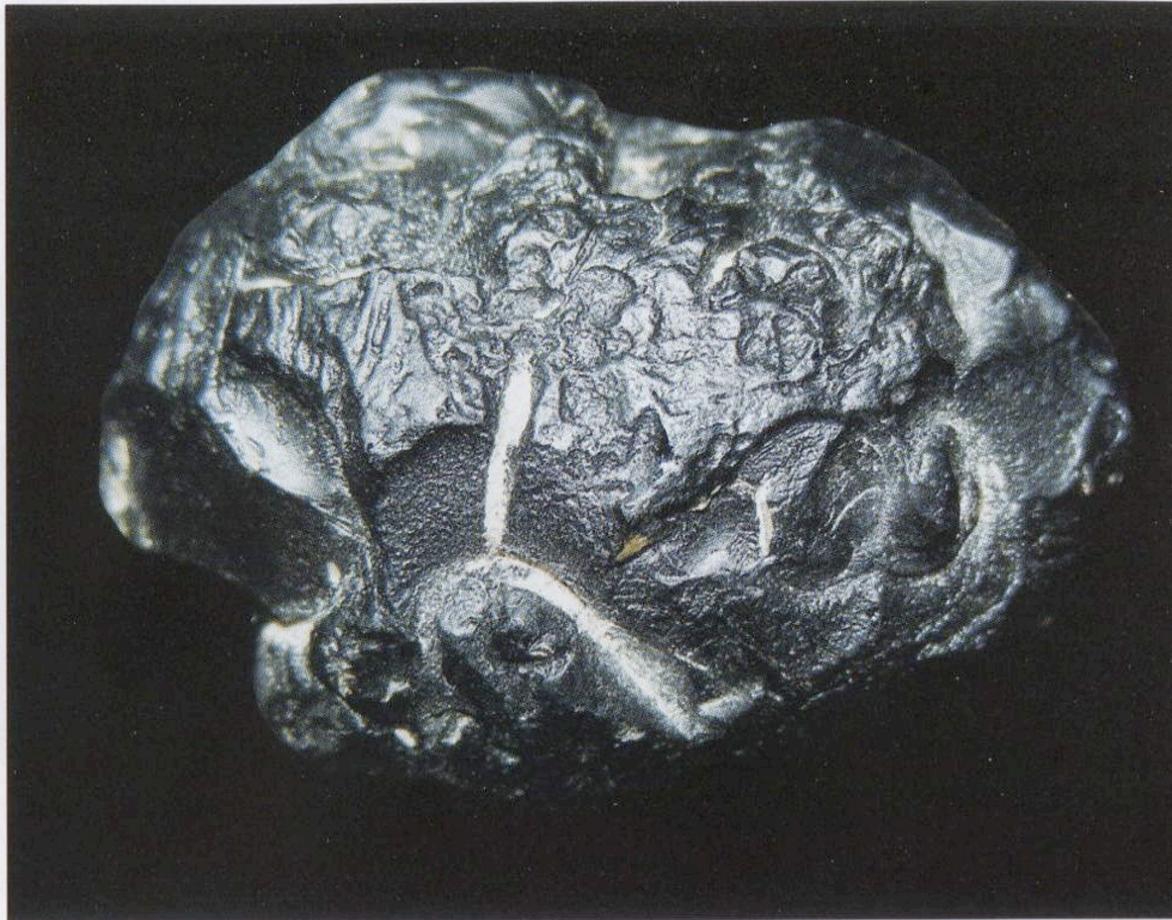
Tectite ivoirite.  
Côte-d'Ivoire.  
(Coll. A. Carion).

de chercheurs de parcourir le monde pour rapporter un maximum d'informations sur ces étranges objets. C'est à cette époque que certains d'entre eux passèrent au Muséum d'histoire naturelle de Paris et y reclassèrent la collection de tectites. D'autres allèrent directement sur les différents lieux pour collecter des échantillons. C'est le cas de Virgil Barnes de l'université d'Austin (Texas) qui entreprit, pour le compte de la NASA, deux voyages, l'un en 1960-1961, l'autre en 1963-1964. Il rapporta des quantités d'échantillons de différentes localités, sauf de la Côte-d'Ivoire, où il rencontra les plus grandes difficultés et n'en rapporta aucune.

Actuellement des vraies tectites, des australasites de Chine beaucoup plus courantes, sont vendues en Côte-d'Ivoire sous l'appellation : ivoirites. Elles sont pratiquement indissociables à l'œil, seule l'analyse en laboratoire permet de les différencier.

## L'Amérique du Nord

Les tectites d'Amérique du Nord sont aussi rares et prisées par les collectionneurs. On y recense les bédiasites, relativement les plus courantes, nommées à partir du nom de la ville Bédias dans le comté de Grimm au Texas autour de laquelle la plupart ont été découvertes. Elles sont noires et opaques, la récolte totale n'excède pas quelques dizaines de kilos. Il y a aussi les géorgites de l'État de Géorgie. Un peu plus de 1 000 spécimens ont été trouvés à ce jour. Elles sont gris verdâtre. De plus, un certain nombre de forages marins opérant pour la recherche pétrolière ont remonté dans les carottes de sondages, au large de la côte orientale des États-Unis



Tectites nord-américaines,  
de gauche à droite :

Tectite géorgite.  
Dodge Co., Géorgie,  
États-Unis.  
(Coll. A. Carion).

Tectite bediasite.  
Grimm's Co., Texas,  
États-Unis.  
(Coll. A. Carion).

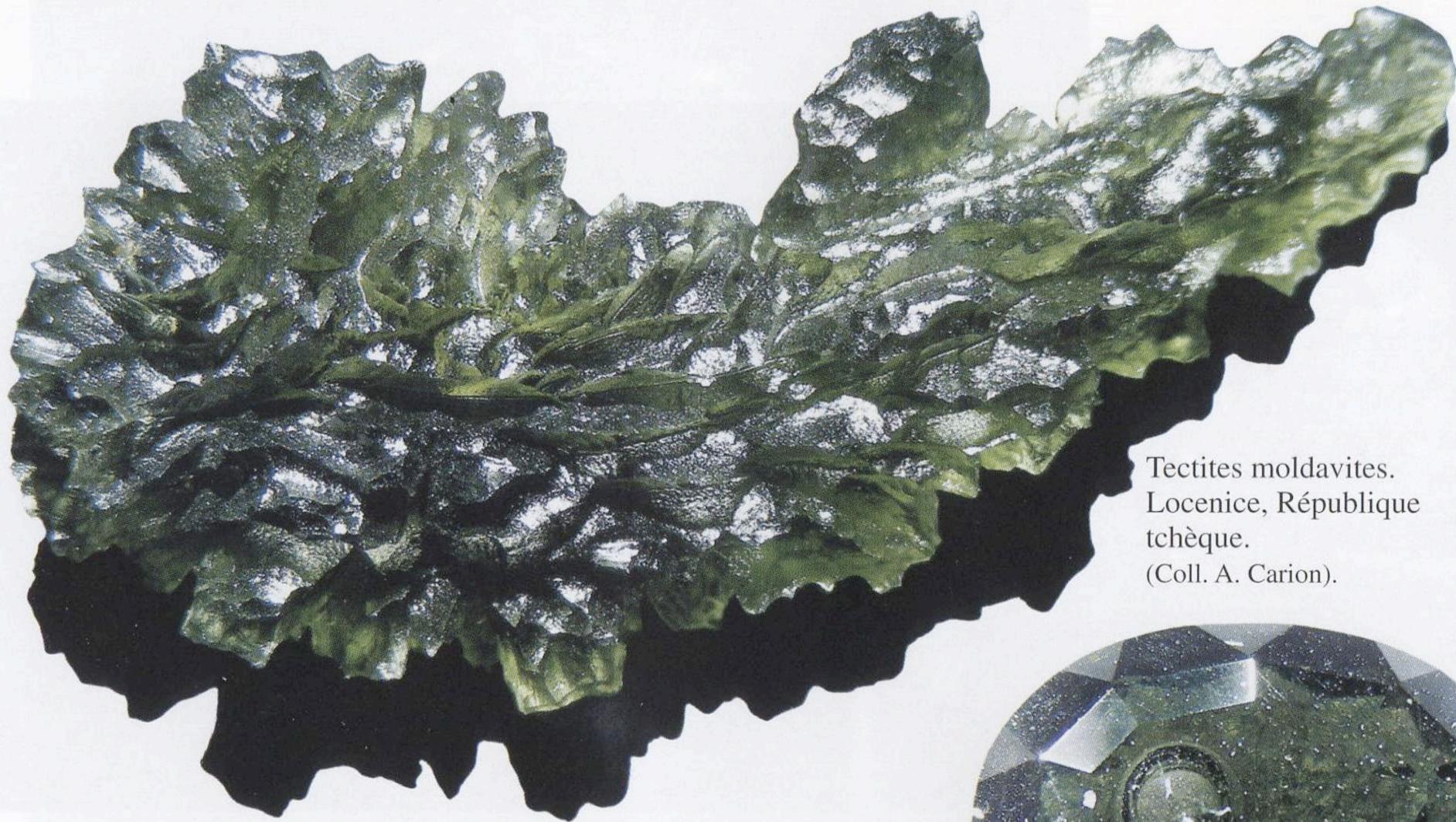
Tectite moldavite.  
Locenice, République  
tchèque.  
(Coll. A. Carion).

et du golfe du Mexique, des tectites dont l'âge – de 32 à 34 millions d'années – et l'aspect – noires, opaques – sont identiques à ceux des bédiasites et des géorgites, mais dont la taille est nettement plus modeste, en général inférieure à deux centimètres. On n'a pas retrouvé le « cratère parent », mais leur analyse donnerait pour origine un impact terrestre situé dans les monts Appalaches.

## La République tchèque et alentours

Il s'agit des moldavites. Ce sont de très beaux petits spécimens d'un joli vert transparent souvent montés en bijouterie. Sur le pont Saint-Charles à Prague, de nombreux vendeurs à la sauvette en proposent de très agréa-



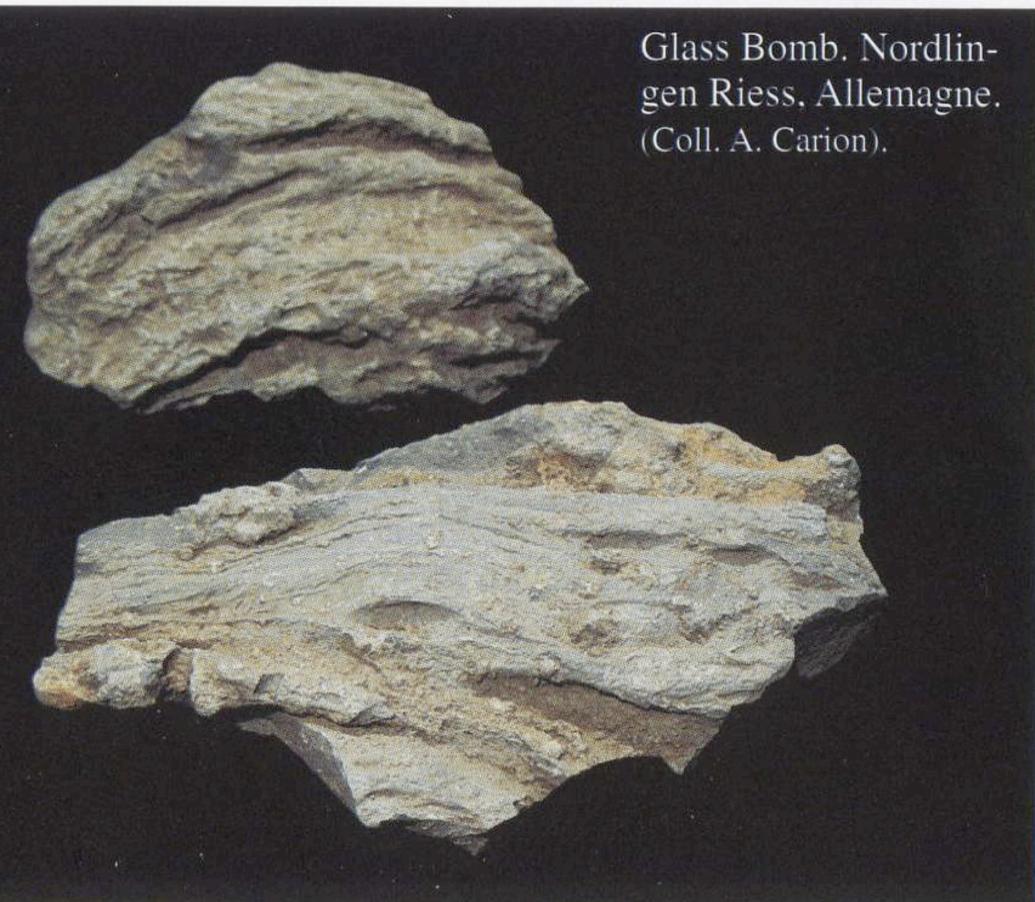


Tectites moldavites.  
Locenice, République  
tchèque.  
(Coll. A. Carion).

bles. Le terme moldavite vient du nom de la Moldau, traduction allemande de la rivière Vltava, en tchèque moldavite se dit : Vltaviny. Des dizaines de milliers de spécimens ont été extraits dans plus de soixante localités se répartissant en deux grands champs principaux, l'un au sud de la Bohême, l'autre au sud-ouest de la Moravie, plus deux champs annexes n'ayant produit chacun que quelques échantillons, l'un à côté de Dresde en Allemagne et l'autre en Autriche à côté de Radesen. La densité moyenne est de 2,3 à 2,4 g/cm<sup>3</sup>, la dureté de 6,5 à 7 sur l'échelle de Mohs. Le plus gros spécimen connu pèse 265 g et a été trouvé à Slavice en Moravie. En 1968, le professeur Konta et ses élèves ont cherché à quantifier l'importance de ces pierres dans les sédiments, l'évaluant à 20,3 g/m<sup>3</sup> de sable. Beaucoup de ces gisements sont situés dans les immen-



Koefelsite, « verre d'impact ».  
Koëfels, Autriche.  
(Coll. E. Diemer).



Glass Bomb. Nordlingen Riess, Allemagne.  
(Coll. A. Carion).





Tectite australasite  
en anneau. Australie.  
(Coll. A. Carion).

De gauche à droite :

Tectite australasite.  
Dalat, Vietnam.  
(Coll. A. Carion).

Impactite.  
Muong-Nong, Laos.  
(Coll. A. Carion).

ses forêts du Sud qui croissent sur un sol sablonneux. Les moldavites se ramassent entre un et deux mètres de profondeur - on ne peut que difficilement creuser davantage en raison des venues d'eau. La recherche est en principe interdite, mais la surveillance malaisée et certains collecteurs locaux en ont rassemblé d'impressionnantes quantités. Il y a 29 000 ans, l'homme de Cro-Magnon utilisait le verre naturel des moldavites pour fabriquer des outils, on a retrouvé des éclats dans le site archéologique de la Vénus de Willendorf en Autriche. Ces tectites sont âgées de 14 à 15 millions d'années et le « cratère parent » serait le Nordlingen-Ries, de 24 km de diamètre, structure située aux environs de Stuttgart en Allemagne.

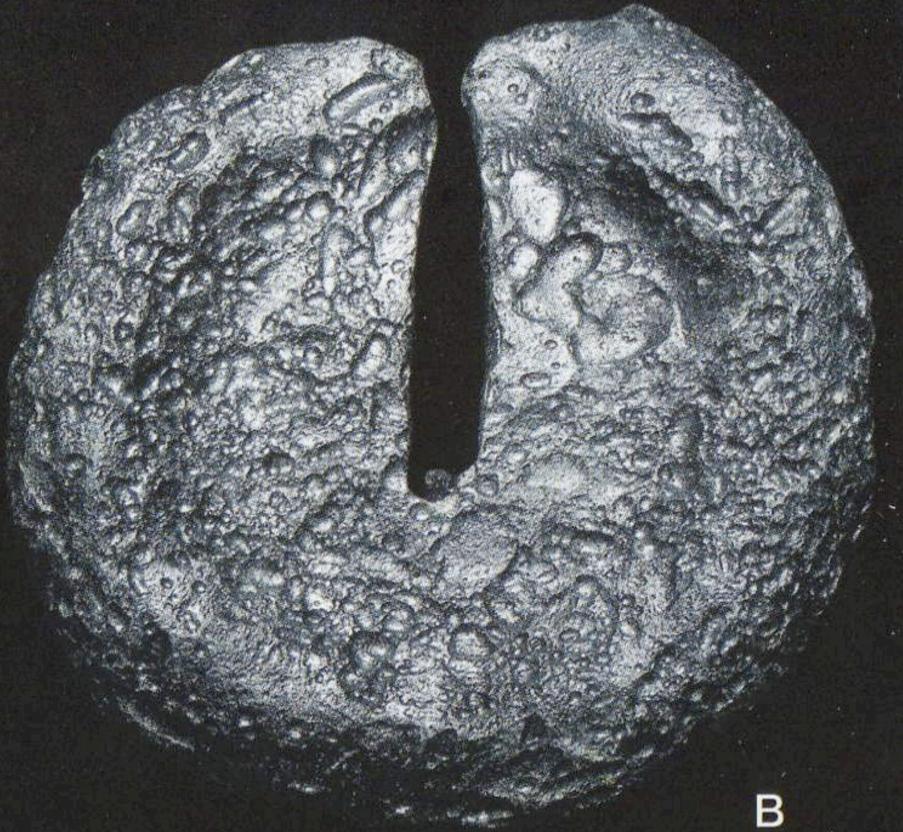
## L'« Australasie »

Il s'agit là de plusieurs vastes champs de tectites s'étendant sur une aire de 10 000 km par 6 000 km. Toutes ces tectites récoltées dans des lieux géographiques différents et de formes variées, sont en général noires et opaques. Elles ont cependant un âge identique (700 000 ans). Elles seraient donc liées à un événement unique, qui a dû être très important à l'échelle planétaire. Les plus courantes proviennent de Thaïlande, du Vietnam et depuis quelques années, avec l'ouverture commerciale de la Chine, de la province de Guang-Dong où on les ramasse à la tonne, leur faible valeur commerciale en fait des objets très populaires. Les plus rares se rencontrent en Australie ; dans ce cas, leur taille est assez modeste, en général inférieure à 2 cm de diamètre. Elles peuvent se présenter sous des formes parfaites d'anneau thorique, de soucoupe ou de bouton. Les plus originales sont sans doute les rhizalites en provenance du sud de l'île de Luzon aux Philippines qui ont une carapace en croûte de pain. Les plus grosses pèsent jusqu'à 20 kg et ont été trouvées parfois sous forme de couche





A



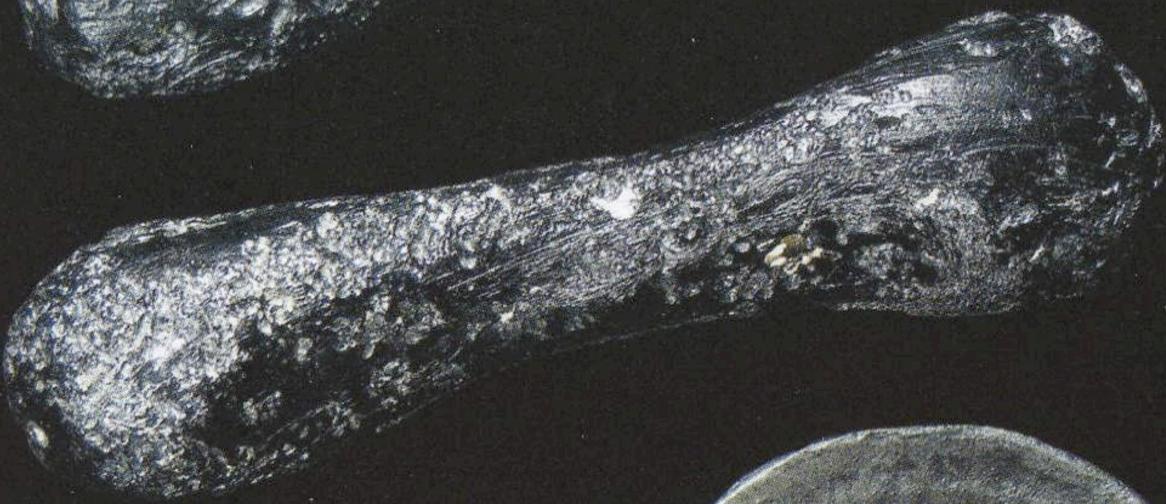
B



C



E



D



F



G



H

A : tectite « Anda Type ».  
Anda, Luzon, Philippines.  
(Coll. A. Carion).

B, C : tectites rhizalites.  
Luzon, Philippines.  
(Coll. A. Carion).

D : tectite australasite.  
Tibet, Chine.  
(Coll. A. Carion).



Tectite australasite.  
Kalgoorlie, Australie  
occidentale.  
(Coll. A. Carion).

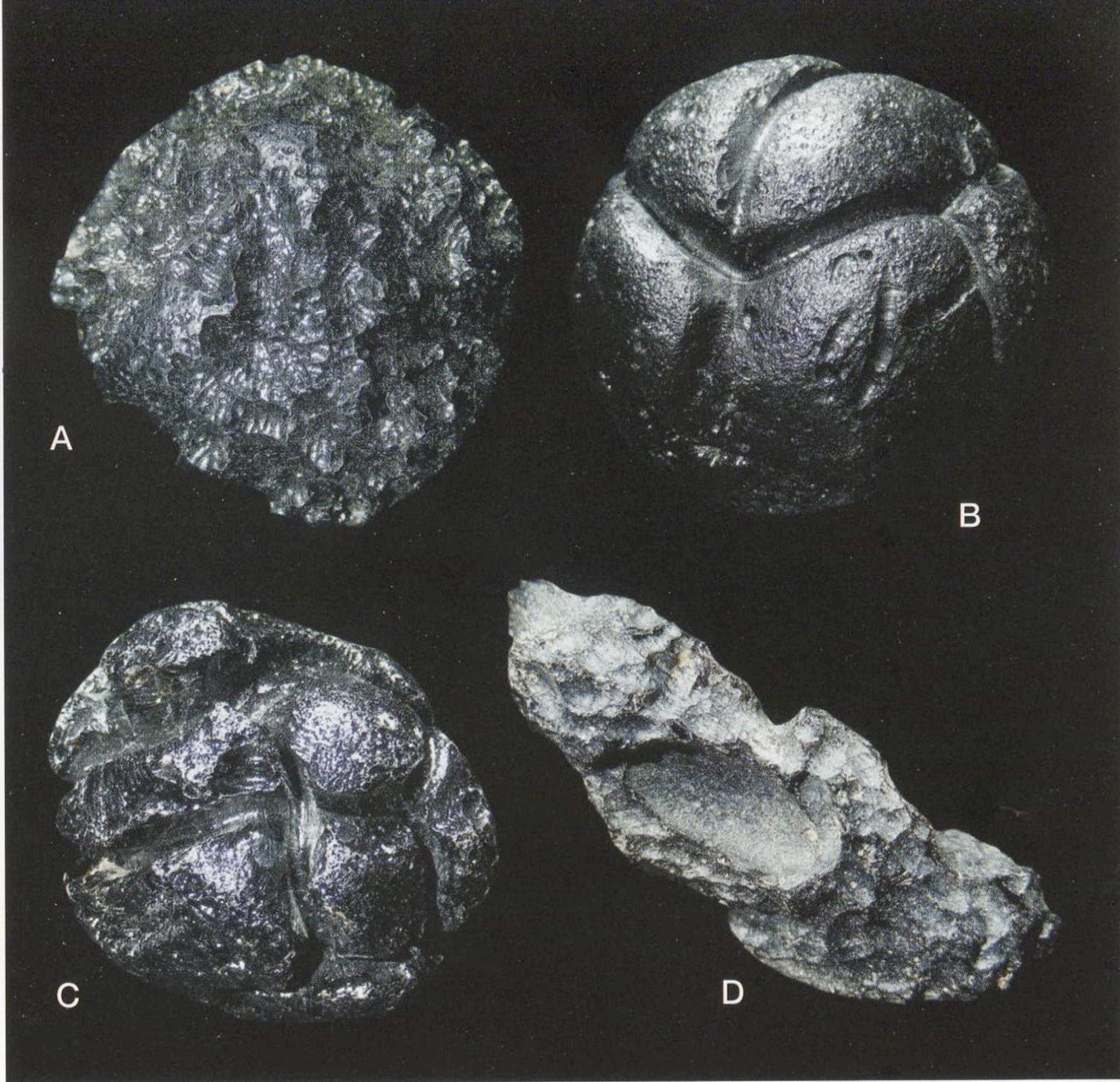
Page ci-contre :

A à E : tectites.  
Guang-Dong, Chine.  
(Coll. A. Carion).

F : tectite australasite  
en bouton. Australie.  
(Coll. A. Carion).

G : tectite australasite.  
Simpson Desert, Australie.  
(Coll. A. Carion).

H : tectite australasite.  
Kalimatan, Bornéo.  
(Coll. A. Carion).



horizontale vitrifiée ; ce sont les tectites de Muong-Nong, souvent notées « layed tectites ». On pense que le point d'impact de l'événement doit être autour de cette localité. Le « cratère-parent » n'a pas été retrouvé. J. I. Weihaupt proposait un cratère situé sous les glaces de l'Antarctique. Cette hypothèse est maintenant discréditée. Les récents travaux de C. C. Schnetzler se basant sur l'analyse des compositions chimiques des divers types de tectites, proposent un cratère situé sur la frontière Laos-Thaïlande.

## Les impactites vitreuses

Il s'agit de verres naturels d'origine terrestre formés par fusion du sol sous l'effet d'un impact météoritique. A la différence des tectites, elles n'ont pas été éjectées dans la haute atmosphère lors du choc, et elles se répartissent autour du point d'impact. Les impactites contiennent assez souvent des traces chimiques de la météorite incidente.

## La Mauritanie

Ces impactites ou verre d'Aouelloul ont été retrouvées sur le bord sud-est du cratère, ce dernier – de 250 m de diamètre – étant situé dans la province de l'Adrar. Son âge a été estimé à 3,3 millions d'années. Le verre se

présente sous forme de fragments irréguliers et variés, parfois cordés, de couleur noir-olivâtre à gris fer. La surface est souvent piquetée ou cannelée, la taille ne dépassant pas les 5 cm. Théodore Monod a fait plusieurs expéditions sur ce site et le Muséum de Paris en possède une belle collection. Ces impactites sont rares, le poids total collecté lors de ces diverses expéditions ne dépassant pas quelques kilogrammes.



Impactites. Aouelloul, Mauritanie. Mars 1998. (Coll. A. Carion).

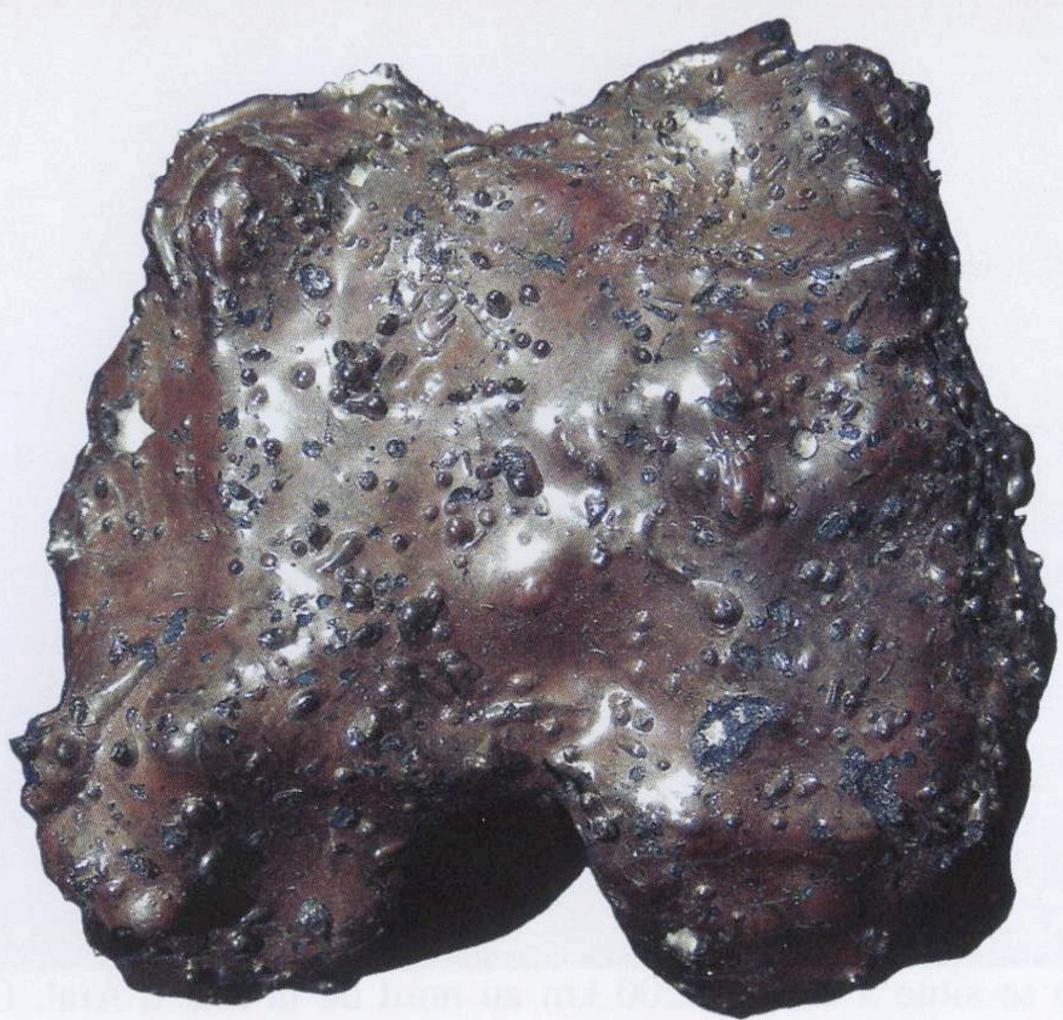


Cratère. Aouelloul, Mauritanie. Mars 1998.



Impactite verre d'Aouelloul. Cratère d'Aouelloul, Mauritanie. (Coll. A. Carion).

Impactite verre de Wabar.  
Cratère de Wabar, Arabie saoudite.  
(Coll. A. Carion).



## L'Arabie saoudite

Les deux cratères de Wabar sont situés dans la province de Rub'al Khali. Découverts en 1932, ils ont 100 et 40 m de diamètre et sont reconnus d'origine météoritique. On y a retrouvé plusieurs tonnes de météorites métalliques, les deux dernières masses de 2.200 et 200 kg, découvertes en 1965 et 1966, sont exposées à Ryad. On a également recueilli dans les lèvres des cratères une quantité non précisée de morceaux de verre, d'aspect noir brillant, de petite taille et très riches en fer. Certains, sphériques, sont appelés parfois « perles du harem ». On estime l'âge du cratère à 6 400 ans. En plus des difficultés administratives rendant difficile l'accès de ce cratère, l'ensablement récent de la zone rend impossible la collecte de spécimens.



Impactite « perles du Harem », verre de Wabar.  
Cratère de Wabar, Arabie saoudite.  
(Coll. A. Carion).

## Théodore Monod

Né à Rouen le 9 avril 1902, il est quatrième enfant d'une famille de pasteur. A l'âge de cinq ans, il découvre sa vocation de naturaliste après une visite au Jardin des Plantes à Paris. Après des études de sciences naturelles et une mission océanographique, il entre en 1922 au Muséum d'histoire naturelle. Il effectue un premier séjour en Mauritanie, c'est le début de sa passion pour le désert. Il parcourt de nombreuses fois le Désert Libyque à dos de chameau, les fameuses méharées, ou à pied. Son endurance exceptionnelle et sa soif de connaissance le portent au cours de plus de quatre vingt voyages et missions scientifiques à travers toute l'Afrique (mais pas seulement). Sa dernière méharée, il l'a fait à l'âge de 92 ans ! De ses voyages, il rédige plus de 2 160 documents dont 700 ouvrages ou articles scientifiques et il promet de ne pas mourir avant d'avoir récolté 20 000 spécimens. Son dernier échantillon date du 19 décembre 1998 et porte le numéro 20273. Il meurt le 22 novembre 2000.



Théodore Monod en Mauritanie. Mars 1998.

## La Tasmanie

Trouvés sur les pentes du mont Darwin, dans une jungle inextricable, humide et gluante, les verres du mont Darwin sont de couleur gris noir et leurs tailles ne dépassent pas les 5 ou 6 cm. Quelques récoltes intéressantes ont été faites en 1994, plusieurs dizaines de kg étant actuellement sur le marché. Le cratère météoritique, âgé probablement de 700 000 ans, a un kilomètre de diamètre. Il a été reconnu en 1933. Aucun reste de l'objet incident n'a été découvert.

## Le Kazakhstan

Le champ se situe à environ 200 km au nord de la mer d'Aral. On les trouve autour du « cratère parent » d'un diamètre de 10 km : l'astroblème Zhamanshin. Le calcul de leur âge donne 1 100 000 ans. Ces impactites vitreuses se présentent sous trois formes différentes, les plus connues sont appelées irgizites ; petites, de l'ordre du centimètre, elles sont noires et opaques, de forme cordée comme certaines laves volcaniques. Il y a également les blocs de verre bulleux de deux couleurs (noirâtre et jaune brun) appelés verre de Zhamanshin. Les plus rares sont les micro-billes de verre d'un diamètre inférieur au millimètre ; on les trouve dans les sédiments autour du cratère.

## Les américanites ou pseudotectites

Décrites dès 1934 par Martin, elles sont maintenant discréditées à la suite de leur analyse chimique. Elles sont d'origine volcanique. Ces pseudotectites sont ramassées dans la région de Macasani au Pérou, à 4300 mètres d'altitude, et dans la région de Cali en Colombie. On persiste toutefois à les collectionner car ce sont de très beaux objets, de taille moyenne, de 2 à



Impactites Darwin Glass.  
Tasmanie, Australie.  
(Coll. A. Carion).

Impactites irgizites.  
Kazakhstan.  
(Coll. A. Carion).



Impactite, verre de Zhamanshin. Kazakhstan.  
(Coll. A. Carion).



5 cm de diamètre, ronds en général. Elles sont d'un gris verdâtre, transparentes ou translucides. Certains créateurs les utilisent comme les moldavites pour fabriquer des bijoux du plus bel effet.

## Le verre libyque

Le verre libyque est ainsi nommé car on le trouve dans la partie égyptienne du désert libyque (et non en Libye). Ce désert ignore les frontières ; il s'étend à la fois en Égypte, au Soudan et en Libye. Il est encore assez peu connu, car sa rigueur climatique est exceptionnelle. Certains auteurs le tiennent pour le plus aride du monde. En 1846, les premiers explorateurs envoyés par Hadj Hussein y signalent d'étranges morceaux de verre éparpillés sur le sol : celui-ci décrira cette découverte à Fulgence Fresnel, consul de France à Djedda qui la publia en 1848 dans le bulletin de l'Institut de Géographie de Paris. En 1873, Zittel un géologue d'une expédition allemande, pense qu'il s'agit d'un calcaire poli par le vent. Puis en



Boule en verre libyque.  
Désert libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).

Verre libyque en place.  
Décembre 1997.



1929, un autre géologue classera ce verre en fragments de poteries vernissées. Le *Geographical Journal* de Londres du 9 mai 1933 publie une lettre de P. A. Clayton rapportant une découverte, fin décembre 1932, de champs de verre au sud de la Grande Mer de Sable du désert libyque. Elle relance les études et, de nos jours, on ne compte pas moins de cent cinquante publications de niveaux divers sur le sujet. En son hommage le verre libyque est parfois noté : claytonite.

Le verre libyque a été popularisé par Théodore Monod, notre grand naturaliste voyageur français (voir biographie p. 27). Avec Samir Lama comme guide, il a arpenté, au début des années 1990, cette région du désert libyque pour en décrire les contours, la richesse et les diverses particularités. C'est Théodore Monod qui a rapporté au Muséum national d'histoire naturelle de Paris le plus gros fragment. Il pèse 27 kilos et a été cassé en deux par le passage malencontreux d'un pneu de véhicule 4x4.

Les hommes préhistoriques s'en sont servi pour fabriquer des armes et des outils. Les Égyptiens au temps des pharaons l'ont sculpté pour l'inclure dans des bijoux : le pectoral de Toutankhamon possède en son centre un scarabée en verre libyque. Aujourd'hui, les plus beaux verres libyques sont considérés comme des pierres gemmes et sont taillés pour être montés en bijouterie.

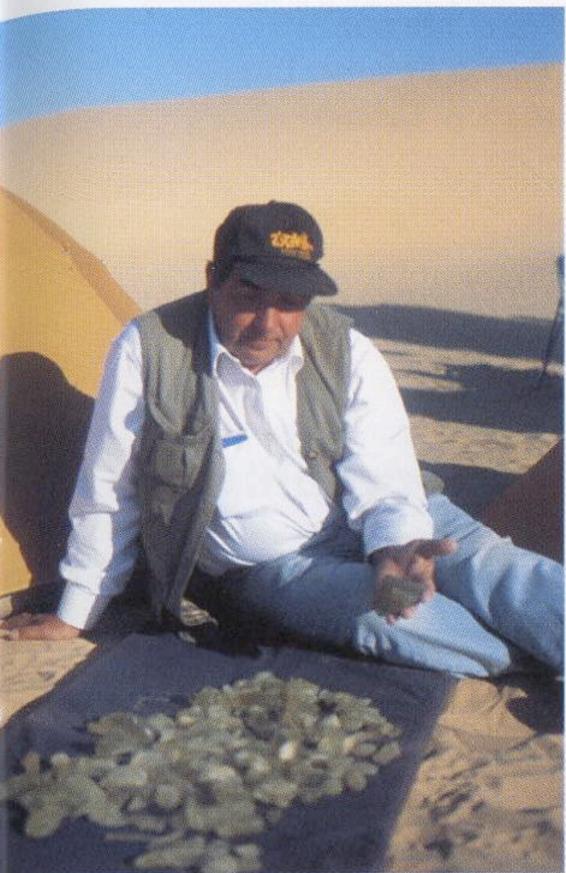
Le gisement est situé à 350 km à l'est-nord-est de l'oasis bien connue de Koufra, au nord du plateau du Gelf-el-Kebir, dans les couloirs interdunaires longitudinaux de la Grande Mer de Sable. Il s'étend sur une zone de 130 km, N-S (latitudes N 25°02' – N 26°13') sur 50 km W-E (longitudes E 25°24' – 25°55'), avec des concentrations variables correspondant parfois à des ateliers de taille préhistoriques établis au pied des cordons dunaires. Les blocs de verre varient en dimensions, allant de la taille d'un œuf d'oiseau à celle d'un

Scarabé en verre libyque (actuel).  
(Coll. A. Carion).



Campement dans le désert libyque. Décembre 1998.





Alain Carion et une belle  
recolte de verres lybiques.  
Décembre 1998.



Verre libyque avec  
cristobalite. Désert  
libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).

morceau de 27 kg, le spécimen le plus gros connu actuellement. Les fragments reposent à même le sol, ou sont à demi enterrés. L'emploi de ce matériau par les premiers hommes occupant cette région a entraîné sa dispersion : on le retrouve parfois très loin de son aire d'origine, avec une concentration maximale délimitée par la latitude de  $25^{\circ}25'$  N et par la longitude  $25^{\circ}35'$  E. Quelques excavations effectuées dans un rayon de 10 kilomètres autour de ce point ont montré que l'abondance du verre était pratiquement constante jusqu'à un mètre de profondeur. Les blocs sont d'une teinte assez homogène jaune vert dans une large gamme allant de l'opaque au transparent, avec toutes les nuances intermédiaires. Parfois ils sont parcourus de traînées brunes plus ou moins foncées, parfois notées « schlieren » dans la littérature. Certains renferment des inclusions de cristobalite bêta, petites boules blanches hérissées de cristaux, pouvant atteindre jusqu'à 4 mm de diamètre. Cette silice, formée à haute température et à haute pression, est l'une des preuves qu'à l'origine, ce verre a été fondu et qu'il est le produit d'un violent impact. La partie superficielle est érodée, creusée de petites cavités, ce que l'on nomme « poli désertique » ; il est très caractéristique et lié aux frottements de millions de grains de sable sur la surface du verre. La partie reposant dans le sable ne montre que des traces de corrosion chimique.

L'analyse a montré que ce verre se compose de 98 % de silice et de 2 % d'alumine, plus quelques traces d'oxyde de fer, de titane, de zirconium. Sa densité est de  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . Le verre libyque a été daté de 28 à 29 millions d'années.

L'origine de ce matériau est encore aujourd'hui un mystère. Les études se poursuivent. Les anciennes hypothèses comme le calcaire poli ou la céramique vitrifiée sont maintenant obsolètes. Certaines autres théories, encore publiées dans des ouvrages récents, sont déjà complètement discréditées. L'origine lunaire ne résiste pas à l'analyse des roches lunaires rapportées par les astronautes : elles possèdent un marquage isotopique bien particulier qui confirme l'origine terrestre des verres libyques. Plus récemment, certains auteurs prétendaient que ce verre se serait formé in situ après évaporation d'un lac, dont l'eau, riche en silice, aurait subi une variation d'acidité ayant entraîné la constitution d'un gel durci ultérieurement. Cette théorie s'appuyait sur la prétendue découverte de spores et de pollens dans certains échantillons de verre. Après vérification, les spores en question se révélèrent être des figures naturelles déformées à l'intérieur de la masse : ils n'avaient jamais eu aucune relation avec de la matière vivante. La spectroscopie en lumière infrarouge montre que la structure moléculaire est caractérisée par une faible concentration en ions  $\text{OH}^-$ , qui sont en général trouvés en quantité dans les silices amorphes formées à basses températures. Le verre libyque n'est donc pas d'origine sédimen-



Verre libyque.  
Désert libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).

taire ou hydrothermal, l'hypothèse d'un violent impact d'origine météorique sur une cible riche en silice avec formation d'un verre d'impact semble la plus plausible. Pour la confirmer, les scientifiques ont trouvé qu'un certain nombre d'échantillons contiennent également des inclusions amorphes de silice pure (sans doute de la lechatéliérite) similaire à ce qui a été trouvé dans les diverses tectites ; elle se forme, comme la cristobalite-bêta, à haute température. L'une des dernières publications de J.-A. Barrat et R. Rocchia réexaminant les spécimens à traînées brunes particulièrement foncées va d'ailleurs dans ce sens. Ils y ont trouvé des rapports Fe/Ir, Ni/Ir, Cr/Ir et Co/Ir très voisins de ceux observés dans les météorites du type chondrite (météorite pierreuse formée de petites billes ; les « chondres »). La plus forte concentration d'iridium trouvée dans ces échantillons de verre a été de 5 ng/g correspondant à un niveau de mélange de 1 % par rapport au matériel chondritique incident.

On n'a pas retrouvé le cratère d'impact associé à la formation des verres libyques : soit il a été détruit par l'érosion après 29 millions d'années, soit il est caché sous les dunes de sable, soit il n'a jamais existé. J. Wasson, le spécialiste des météorites métalliques à l'université d'UCLA aux États-Unis, a proposé une nouvelle théorie, très séduisante. En fait, la météorite incidente n'aurait jamais touché le sol, comme pour la Toun-gouska en 1908. Une météorite de faible densité aurait explosé entre 10 et 20 km d'altitude, l'effet du souffle et de la chaleur aurait vitrifié le sol

## Bibliographie sommaire

- Barrat J.-A., Jahan B.M., Amossé J., Rocchia R., Keller F., Poupeau G.R., Diemer E., 1992 - Geochemistry and origin of Libyan Desert glasses, *Geochimica & Cosmochimica Acta*, 6 (9).
- Black A., Jensen M., Jensen W., 2004 - *Météorites from A to Z*, 2<sup>e</sup> édition, édité par l'auteur, Denver Colorado.
- Bouska V., Konta J., 1987 - *Moldavites*, Univerzita Karlova Praha.
- Burke J., 1986 - *Cosmic Debris*, University of California Press.
- Carion A., 1997 - *Les météorites et leurs impacts*, 2<sup>e</sup> édition, Masson.
- Carion A., 1992 - *Météorites*, édité par l'auteur.
- Carion A., Deville, J., Lebrun P., 2000 - *Météorites en France*. Cédim.
- Diemer E., 1996 - *Libyan desert glass and impactite*, *Silicia 96*, Bologne University.
- Girod M., 1978 - *Les roches volcaniques : pétrologie et cadre structural*, Doin.
- Heinen G., 1998 - *Tektites*, édité par l'auteur.
- Larouzière F.-D. de, 2001 - *Dictionnaire des roches d'origine magmatiques et des météorites*, éd. BRGM.
- Luminet, J.-P., 2002 - *Le feu du Ciel*, Le Cherche Midi.
- Monod T., 1994 - *Désert Libyque*, Arthaud.
- Monod T., Zanda B., 1992 - *Le fer de Dieu*, Actes Sud, Arles.
- Muséum national d'histoire naturelle, 1996 - *Les Météorites*, Bordas.
- Navarro-Gonzalez R. et al., 2007 - *Fulgurites of Libyan desert...* *Geological Society of America*, 35 (2).
- Pelé P.-M., 2005 - *Les Météorites en France*, BRGM Editions.

en place, sol qui à l'époque aurait pu être constitué de ces fameux grès de Nubie présents dans la région. Cette hypothèse est compatible avec les analyses des éléments traces effectuées par J.-A. Barrat qui laissaient à penser que le sol cible était sans doute d'origine sédimentaire, altéré et riche en silice, ce qui est bien le cas ici. ●



Outil en verre libyque.  
Désert libyque, Égypte.  
(Coll. A. Carion).



Tectite moldavite.  
Locenice, République  
tchèque.  
(Coll. A. Carion).

Louis Carion et la plus  
belle fulgurite jamais trou-  
vée dans le désert libyque.  
Décembre 1995.

Oasis dans le désert.



PRIX : 5 €