

Les verres naturels

Par Laurence Galoisy, Laboratoire de Minéralogie
Cristallographie, 4 place Jussieu, Case 115,
UMR/CNRS 7590, Universités Paris 6 et 7 et IPGP,
75251 Paris Cedex 05.

Bien que les verres volcaniques soient les plus répandus et les plus connus des verres naturels, ces géomatériaux regroupent des catégories de verres dont la quantité et l'importance sur Terre sont très inégales.

On peut définir quatre grandes catégories de verres naturels :

- les verres volcaniques : basaltes et obsidiennes ;
- les tectites ;
- les verres lunaires ;
- les verres biogéniques.

Les compositions de ces verres sont différentes selon leurs contextes de formation. Ils présentent donc des structures différentes et des propriétés associées qui permettent de les différencier.

Les verres du volcanisme

Les verres basaltiques

Ce sont des verres trempés naturellement et rapidement dans l'air ou dans l'eau. Ils proviennent essentiellement d'un volcanisme aérien de points chauds, comme celui de l'île d'Hawaï ou de l'île de la Réunion, et d'un volcanisme de rides médio-océaniques (sous-marin) ou de zone de subduction.

Leur teneur en silice est relativement faible : entre 49 et 54 %. En revanche, leur teneur en fer est toujours élevée : entre 7 et 11 %, et la teneur en éléments alcalino-terreux (Mg, Ca...) est assez forte : entre 17 et 20 %. Ils contiennent peu d'éléments alcalins (Na, K...) : entre 3 et 5,5 %. Leur teneur en eau peut être de l'ordre du pourcent. Ces verres basaltiques peuvent prendre une couleur verte liée à la présence de fer ferreux dans la matrice vitreuse ou une couleur brune liée au fer ferrique.

Les laves issues de ces volcans sont souvent très fluides. La trempe dans l'air ou l'eau est extrêmement rapide et il en résulte que le verre basaltique est une fine couche vitrifiée, au contact de l'air ou de l'eau, à la surface de la roche basaltique (on obtient des couches minces microniques de verre). Lorsque cette lave est projetée dans l'air, elle s'étire en fins filaments : ce sont les cheveux de Pélé. On retrouve également des gouttelettes figées : les larmes de Pélé. L'explosion de la lave au contact de l'air peut donner naissance à un matériau cellulaire très fin : la réticulite, dont les porosités microniques possèdent des parois de verre translucide. Lorsque l'explosion de la lave a lieu au contact de l'eau, des esquilles de verre sont créées d'épaisseur micronique : le « limu » (Figure 1).

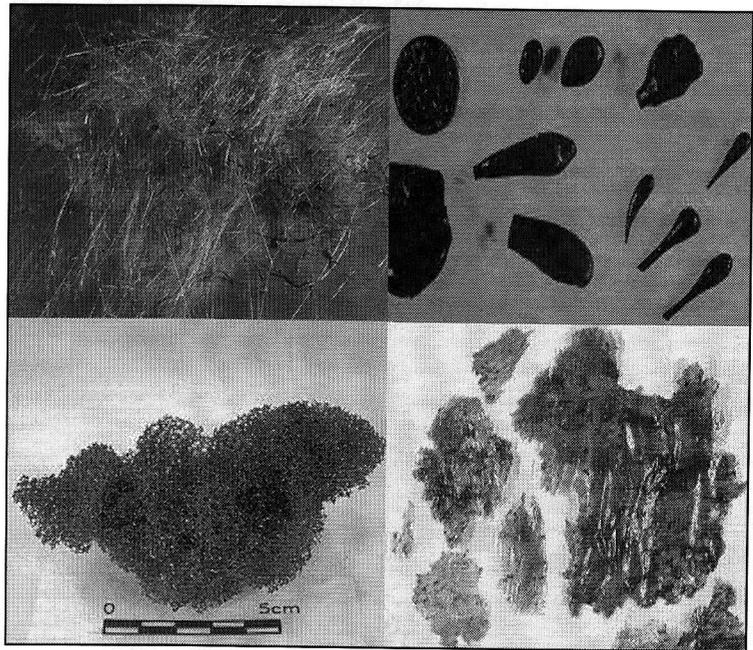


Figure 1 - Cheveux de Pélé, larmes de Pélé, réticulite et limu.

Les obsidiennes

Ce sont des verres naturels de couleur noire qui ont refroidi lentement dans la masse. La composition chimique des obsidiennes est différente de celle des basaltes. Plus riche en silice (71 à 77 %), leur magma d'origine donne des laves extrêmement visqueuses, ce qui explique la faible vitesse de refroidissement. Les obsidiennes sont également plus riches en éléments

alcalins et relativement pauvres en éléments alcalino-terreux (0,5 à 2 %). La teneur en fer est comprise entre 0,2 et 4 %. Souvent anhydres, elles peuvent contenir jusqu'à 2 % d'eau.

Un site remarquable d'obsidiennes est le volcan du Mono Crater en Californie (USA). Au centre du cratère se situe le dôme, constitué d'obsidienne massive totalement vitrifiée et très bien conservée. Au contraire, le volcan Newberry, dans l'Oregon (USA), présente une coulée kilométrique, montrant obsidiennes et ponces mêlées (Figure 2). La ponce est un matériau qui présente la même composition que l'obsidienne mais dont le liquide d'origine a été fortement dégazé, lors de l'éruption. À cause de ce dégazage, la lumière diffusée sur les petits pores va donner à ce matériau une couleur très claire.

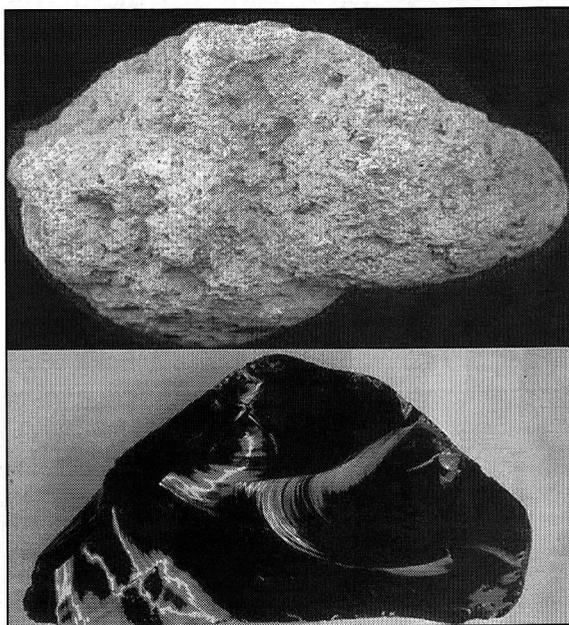


Figure 2 - Ponce (en haut) et obsidienne (en bas) : contraste de couleurs pour deux matériaux issus du même liquide magmatique.

Si les basaltes présentent, en général, une couleur verte ou marron, la couleur la plus répandue pour les obsidiennes est le noir. Inhabituelle pour un verre, cette couleur est liée à la présence d'oxydes de fer cristallisés ou amorphes (essentiellement magnétite et maghémite) dans la structure du matériau. Ces verres peuvent également prendre des couleurs variées. Certaines obsidiennes peuvent présenter un litage rouge et noir, lié à la présence des deux oxydes de fer : magnétite pour la couleur noire et hématite pour la couleur rouge. Les obsidiennes dites à « flocons de neige » présentent de fines dévitrifications de cristobalite dans leur structure. La présence de cette phase cristalline est liée à une température élevée de nucléation des particules. Certaines obsidiennes sont zonées, montrant que des échantillons de liquide de compositions différentes se sont soudés à haute température. Les obsidiennes arc-en-ciel montrent dans la structure vitreuse des nucléations de silicates variés (micro-phase du pyroxène hédénbergite par exemple) en relation avec l'histoire thermique du matériau (Rossmann, 2001). Certaines de ces obsidiennes se sont mises en place en milieu lacustre. Ce sont des perlites. Au cœur d'une ponce totalement hydratée, on trouve un verre anhydre : la markanite, ou larme d'Apache. La perlite est utilisée comme matériau de protection thermique et phonique (Figure 3).

Les tectites

Les tectites sont des verres formés en haute atmosphère. Très riches en silice (60 à 80 %), elles possèdent également une forte teneur en alumine (8 à 16 %) et de 3 à 4 % d'éléments alcalins. Leur couleur varie du jaune au vert. Ces verres résultent de l'impact de météorites géantes sur la Terre il y a quelques millions d'années.

Lors de l'impact, le matériau est fondu et éjecté dans l'atmosphère sous forme de gouttes de liquide silicaté. Lors de sa trajectoire dans l'atmosphère, le matériau prend des formes spécifiques durant la trempe et peut être transporté sur des centaines voire des milliers de kilomètres.

Quatre grands champs de tectites ont été identifiés (voir *SAGA Information*, numéro spécial d'octobre 2000 : article de J-P. Roucan). Le premier champ est localisé de l'Australie à l'Asie. C'est le champ des Australites et des tectites « Asiatiques » (Indochinites, Thaïlandites, etc...). Ces tectites sont datées entre 0,7 et 0,83 million d'années. Le second champ est localisé autour du cratère de Ries, en Allemagne (ce sont les Moldavites dont la quantité présente sur Terre est estimée à 3 000 tonnes environ). Aucune

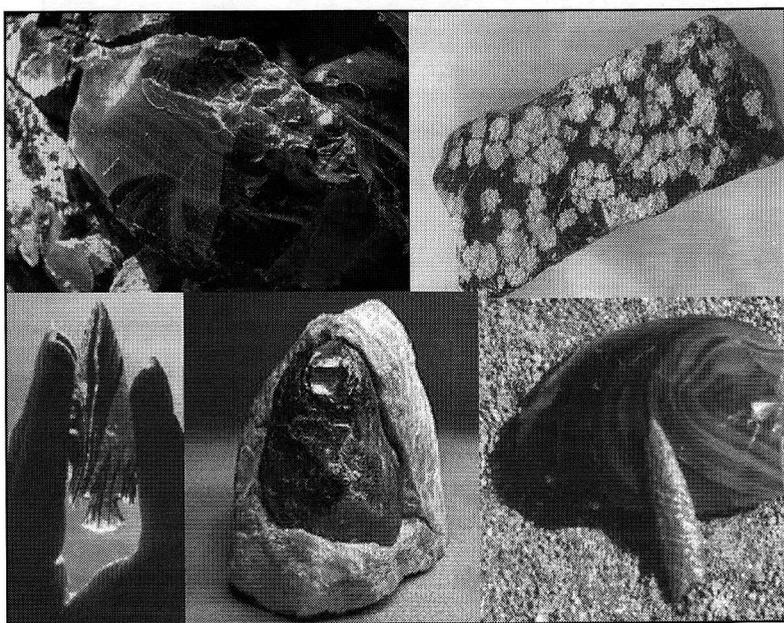


Figure 3 - Les obsidiennes : des verres multicolores. 1) Obsidienne litée. 2) Obsidienne flocons de neige. 3) Echantillons de liquide soudés. 4) Perlite au cœur de markanite. 5) Obsidienne arc-en-ciel.

filiation directe n'a été établie entre ces tectites et le cratère lui-même. L'âge de ces tectites est estimé à 14,7 millions d'années (Figure 4). Le troisième champ est localisé en Afrique et est associé au cratère Bosumtwi, au Ghana, avec un âge de 1,1 million d'années. Les tectites nord-américaines composent le quatrième champ (micro-TECTITES, comme les Bédiasites ou les Georgiâites). Elles représentent l'impact le plus ancien et sont datées entre 34 et 35 millions d'années. A cause de l'érosion forte qui règne à la surface du Globe, aucun cratère ne peut être

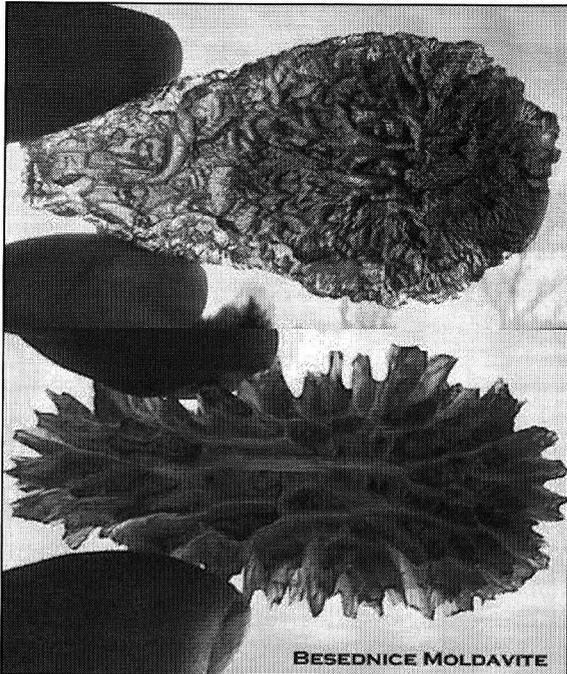


Figure 4 - Moldavite (tectite européenne) montrant les figures de corrosion typiques de ce verre.

associé à ce dépôt.

Les tectites peuvent prendre, comme on l'a vu précédemment, une grande variété de formes liées à leur trajectoire dans l'atmosphère (Figure 5). Il est ainsi possible de distinguer sans aucun problème une Australite (forme en soucoupe) d'une Indochinite (forme en fuseau). Les tectites sont en général trouvées dans des couches fines de sédiments, à des profondeurs variant entre 10 et 15 mètres. La plus grosse Indochinite trouvée pèse plus de deux kilos. Outre ces quatre zones de dépôts remarquables, il existe également dans le désert de Libye un verre particulier, extrêmement riche en silice (environ 98 %), dont l'âge est estimé entre 25 et 30 millions d'années, qui se trouve dispersé sur environ 6 000 km². Théodore Monod a été le premier à le découvrir. Son origine et son mode de formation sont, encore actuellement, le sujet de nombreux débats.

Une autre forme de vitrification est également trouvée dans le désert, ce sont les fulgurites (Figure 6). Ce matériau résulte de l'action de la

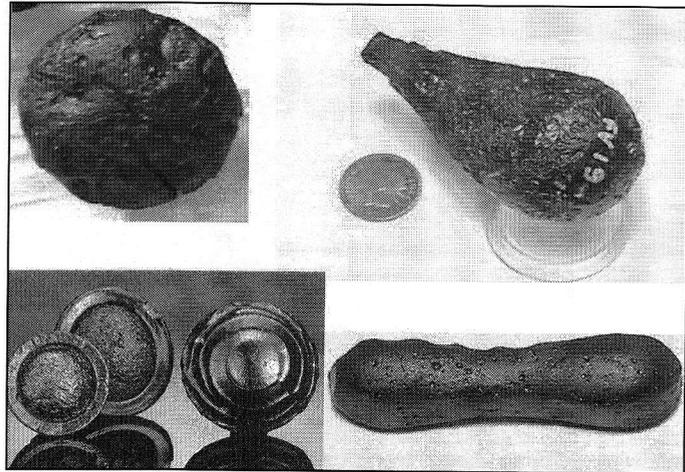


Figure 5 - Tectites : de grandes variétés de formes, arrondie, en fuseau, en soucoupe et en haltère.

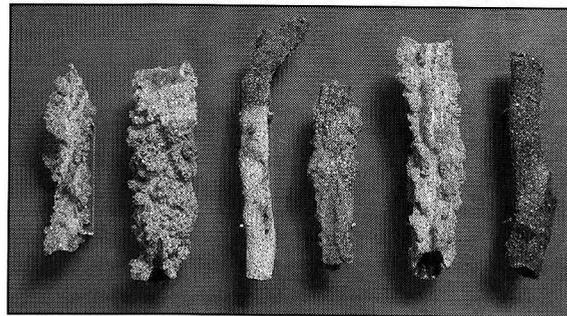


Figure 6 - Les fulgurites, résultat de l'action de la foudre sur le sable du désert.

foudre sur le sable du désert, qui produit un tube de verre recouvert de sable non fondu. La température à l'impact de la foudre peut atteindre 3 000 degrés. La plus ancienne de ces fulgurites est datée de 250 millions d'années et provient de la province d'Arran, en Écosse (voir SAGA Information, numéro spécial d'octobre 2000, article d'Edmond Diemer).

Les verres lunaires

Lors des expéditions lunaires, des échantillons de verre trouvés dans le régolite (sol lunaire) ont été rapportés. Ces verres présentent un état de conservation exceptionnel malgré leur âge (3,5 à 4 milliards d'années), lié à l'absence de facteur de corrosion sur la Lune (Figure 7). Leurs couleurs sont essentiellement orange et verte. Généralement, pour les matériaux terrestres, ces couleurs sont associées au fer dans son état oxydé (Fe³⁺) pour la couleur orange et dans son état réduit (Fe²⁺) pour la couleur verte. La présence de fer oxydé dans les matériaux lunaires a laissé penser aux scientifiques de l'époque qu'il aurait pu y avoir de l'eau à la surface de notre satellite. En effet, en l'absence d'atmosphère oxydante, seule la présence d'eau aurait pu justifier la présence de fer ferrique dans la matrice vitreuse donnant la couleur orange. Cependant, l'analyse chimique des verres a montré l'absence

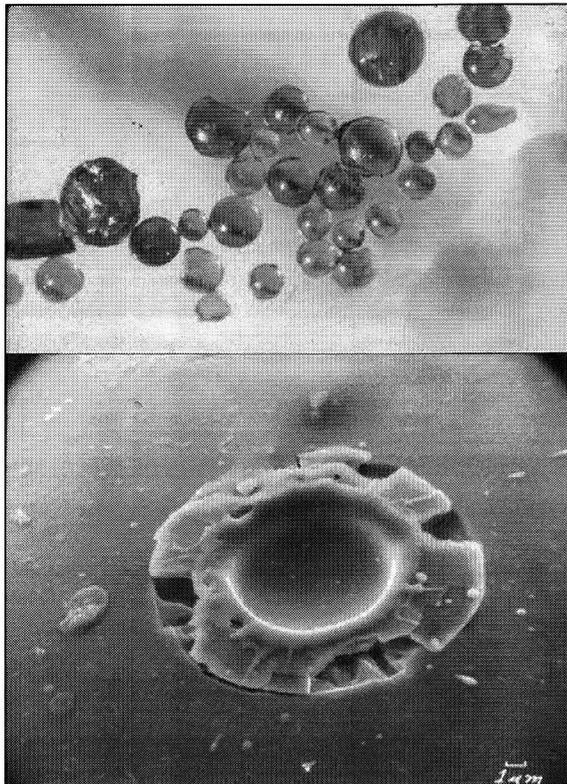


Figure 7 - Les verres lunaires, peu de traces d'érosion, seule est visible la trace au MEB de l'impact d'une micrométéorite sur la surface d'un grain.

14

de fer ferrique et la présence de titane et de fer dans la matrice vitreuse. La coloration spécifique est, en fait, le résultat d'un transfert de charge entre Ti^{4+} et Fe^{2+} . Les verres de couleur verte étaient normalement liés à la présence de Fe^{2+} dans la matrice vitreuse.

Les verres biogéniques

Une autre catégorie de matériaux terrestres fait partie des verres naturels. Ce sont les verres biogéniques, fabriqués à base de silice hydratée amorphe par des organismes vivants et qui peuvent prendre des formes tout à fait surprenantes (Figure 8). Les grandes familles d'organismes produisant ce type de verres sont les radiolaires en milieu marin et les diatomées en milieu lacustre. On peut également citer les phytolithes qui donnent leur résistance mécanique aux graminées.

Conclusion

On a vu que les verres naturels présentait une grande diversité. Ils ont souvent été utilisés pour la confection d'outils par les hommes de la Préhistoire ou, encore actuellement, comme bijoux. Ils sont, de ce fait, souvent étudiés d'un point de vue archéologique : datation des obsidiennes par leur degré d'hydratation secondaire et traçage des sources de ce matériau qui permet de remonter aux échanges commerciaux, par exemple. En tant que géomatériaux, on s'intéresse également à leur coloration et à leurs conditions de formation. Leur évolution à la surface de la Terre, soit les conditions dans lesquelles ils seront corrodés et transformés, en font également un géomatériau intéressant comme analogue, pour l'étude de l'évolution en milieu géologique, pour le stockage de déchets nucléaires.

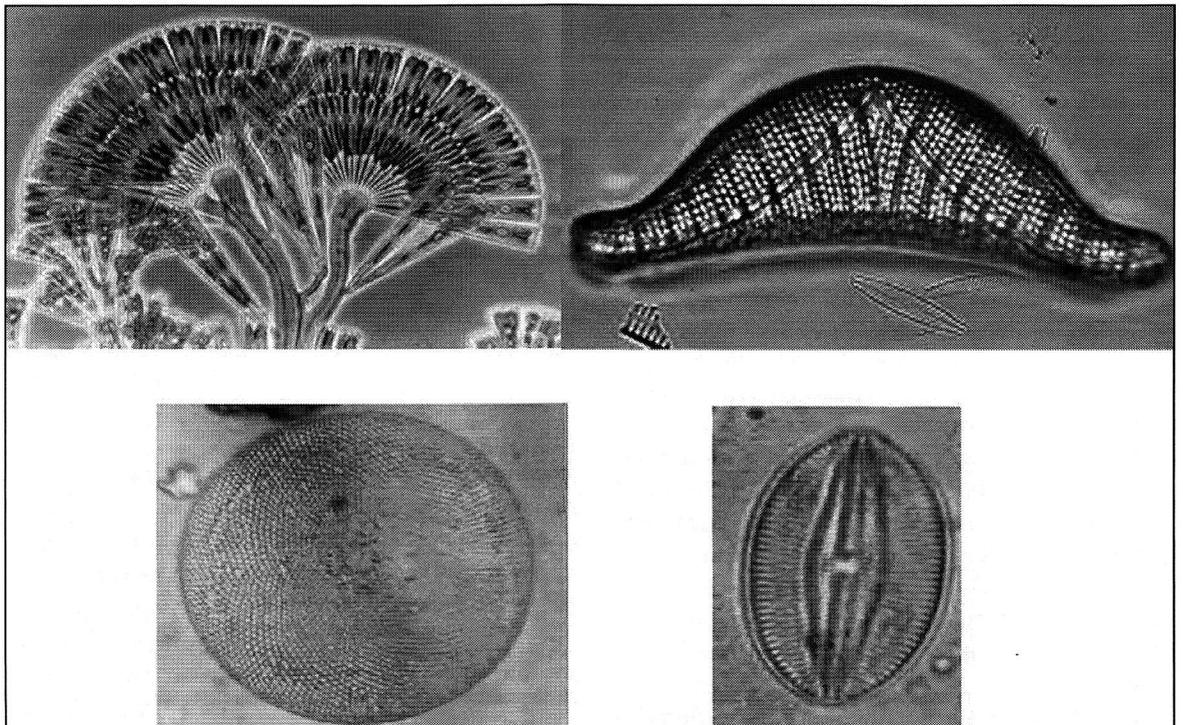


Figure 8 - Les verres biogéniques, des formes surprenantes.