Des laves aux colonnes prismatiques

Bernard Marandet

Introduction

Il existe à travers le monde une variété de sites offrant le spectacle extraordinaire de laves figées sous forme de hautes colonnes élancées et jointives à contours prismatiques, que l'on qualifie communément d'orgues basaltiques en raison de leur ressemblance avec des tuyaux d'orgues. Si le plus connu est la Chaussée des Géants en Irlande, d'autres comme la Columbia River aux Etats Unis, les Organ Pipes en Australie ou, plus près de nous, les fameuses coulées basaltiques du Massif Central (StFlour, Muratel) ou de la Haute-Loire (Jaugac, Chilhac, Prades) sont également remarquables (Figure 1). De la fin du 17è siècle à nos jours, plus d'une centaine de publications ont été consacrées à ces mystérieuses colonnes prismatiques sans pour autant avoir réussi à en dévoiler tous les secrets. Mais avant d'entrer dans les détails des mécanismes supposés d'organisation des laves au cours de leur refroidissement, voyons tout d'abord quels sont le caractère généraux de ces curiosités naturelles.





Figure 1. Colonnes prismatiques à Chilhac (Haute-Loire)

1.Caractères généraux des colonnes prismatiques¹

Les colonnes sont en majorité de section hexagonale ou pentagonale, mais il n'est pas rare d'observer aussi des prismes à quatre, sept ou huit côtés. Leur diamètre peut varier de quelques centimètres ou dizaines de centimètres à 2 ou 3 mètres, sur une hauteur de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres. Le pavage de la Chaussée des Géants montre la vue en coupe d'une telle structure colonnaires (Figure 2).

¹ Les mots écrits en italique sont definis dans le glossaire à la fin du texte.



Figure 2. Section transversales des colonnes prismatiques à la Chaussée des Géants (en anglais *Giant's Causeway*).

Ces formations naturelles ont pour origine la diminution de volume, appelée couramment le *retrait,* qui a lieu au cours de la solidification des laves. Ainsi que nous le verrons par la suite, le retrait a pour conséquence la formation de fissures appelées *diaclases* par les géologues, afin de compenser cette diminution de volume. Dans les cas favorables, les diaclases s'ordonnent géométriquement pour former des divisions polygonales régulières que l'on qualifiera ici de *prismation*.

Notons cependant que toutes les laves ne se fissurent pas de façon régulière car la division polygonale demande des conditions assez précises qui sont liées principalement au type de lave (basaltique ou autre), à ses propriétés (texture, porosité), ainsi qu'aux conditions de refroidissement (vitesse, pressions, tensions).

a) Rôle de la nature des laves

Sur un plan très général et sans faire référence à un site particulier, les colonnes sont en majorité de section hexagonale ou pentagonale, mais il n'est pas rare d'observer aussi des prismes à quatre, sept ou huit côtés. Leur diamètre peut varier de quelques centimètres ou dizaines de centimètres à 2 ou 3 mètres, sur une hauteur de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres. La formation de ces structures colonnaires polygonales très régulières et élancées est généralement le résultat du retrait de laves basaltiques mais aussi de laves différenciées telles que les phonolites, trachytes, andésites ou même d'autres types de roches comme les ignimbrites, les tufs indurés, ou les argiles suffisamment chauffées par des laves qui les ont recouvertes ou traversées (argiles "frittées"). Les roches ne sont pas seulement concernées par ce phénomène que l'on observe aussi, par exemple, dans certains matériaux industriels (laitiers de fonderie, verres optiques trempés, métaux..) ou bien encore lors du séchage de solutions aqueuses d'amidon. Notons ici que l'amidon de maïs est un milieu modèle souvent utilisé en laboratoire pour étudier à échelle réduite les mécanismes de formation des colonnes prismatiques (1)(2).

La texture de la roche conditionne aussi la formation des colonnes prismatiques. Ainsi, dans

le cas du basalte, on peut distinguer trois types de faciès lithologique (3):

- les basaltes à texture fine et homogène, peu poreux et de teinte bleutée, se prisment bien; ils donnent les structures colonnaires les plus remarquables ;

- Les basaltes à texture *doléritique* ne donnent au contraire que rarement des colonnes prismatiques en raison de leur forte porosité; ils se divisent plutôt en blocs quelconques ou en larges dalles ;

- enfin, les basaltes vitreux à verre brun-mauve, de teinte noire, compacts et de porosité nulle, donnent des prismes étroits, irréguliers et enchevêtrés en éventail qu'on appelle couramment des "faux prismes".

Ces deux derniers types s'associent fréquemment dans une même coulée pour constituer une architecture à trois niveaux avec, à la base, une colonnade de prismes réguliers (basalte bleuté), au milieu, un entablement de faux prismes souvent disposés en gerbes rayonnantes (basalte noir compact) et, au sommet, une fausse colonnade composée de prismes généralement plus grossiers et moins réguliers que ceux de la colonnade (Figure 3).



Figure 3. Coupe d'une coulée de lave à entablement de faux prismes.

Dans les cas assez fréquents où l'entablement intermédiaire de faux primes est inexistant, la colonnade basale refroidie au contact du *substratum* se trouve alors surmontée directement par la fausse colonnade refroidie au contact de l'air.

La présence d'une plus forte proportion de *mésostase* vitreuse au niveau de l'entablement qu'à celui des colonnades témoigne d'une plus grande vitesse de refroidissement. Il est d'ailleurs tout à fait surprenant d'observer la limite nette, sans transition, qui sépare généralement la zone colonnaire basale de l'entablement de faux prismes. Ce type de structure est toutefois rarement complet car souvent amputé par l'érosion dans sa partie supérieure; il correspond à une architecture particulière qui est caractéristique des coulées de la Haute-Loire et de l'Ardèche.

Les roches différenciées montrent, dans l'aptitude à la prismation, la même opposition entre faciès poreux et faciès compacts que les basaltes. Ainsi deux variétés de trachy-andésites du Mont Dore s'opposent par leur aptitude à la prismation: l'une, la sancyite, claire et poreuse est incapable de se prismer et reste débitée en gros blocs informes tandis que l'autre, la doréite, *mésocrate* et compacte forme des colonnades de prismes réguliers.

En résumé et d'une manière générale, les laves à mésostase finement *microlitique* comme beaucoup de phonolites et de basaltes alcalins possèdent la meilleure aptitude à se diaclaser régulièrement. Au contraire, les laves à structure plus grossière et hétérogène se fissurent de façon plus aléatoire avec des diaclases désordonnées et généralement plus espacées. Ce caractère est accentué par la porosité dont le rôle serait d'absorber, à l'échelle microscopique, une partie du retrait de la roche.

b) Rôle des conditions de refroidissement: vitesse, pressions, tensions

L'aptitude à la prismation d'une coulée de lave au moment de sa mise en place est également déterminée par certains facteurs physiques tels que la vitesse de refroidissement, les pressions exercées sur la coulée et les tensions internes en relation avec la viscosité de la roche (3).

- Vitesse de refroidissement

En règle générale, le refroidissement des laves se produit depuis le substratum fossilisé ainsi que depuis le sommet et les rebords des coulées mais aussi à partir des *épontes* quand la coulée a lieu sous forme d'intrusions. Sa progression à l'intérieur des volumes laviques correspond au déplacement de surfaces isothermes. Dans la plupart des cas, les colonnes se développent perpendiculairement aux surfaces de refroidissement, suivant le déplacement des isothermes depuis le substratum fossilisé ou les surfaces libres des coulées au contact de l'air. La topographie pré-éruptive joue donc un rôle essentiel dans leur disposition. Ainsi, les colonnes sont, soit perpendiculaires au substratum si celui-ci est horizontal (Figure 4), soit inclinées suivant le profil du terrain;



Figure 4. Colonnes prismatiques verticales sur un substratum horizontal. Svartifoss (Islande).

; elles sont parfois même disposées à l'horizontale comme dans le cas des *dykes* où les surfaces de refroidissement sont verticales (Figure 5).



Figure 5. Colonnes prismatiques à l'horizontale dans un dyke dans la region des Estables (Haute-Loire).

Notons qu'une même lave peut se fissurer à des températures différentes, donc avec des viscosités variables selon la vitesse de refroidissement et le gradient de retrait (diminution de volume par unité de temps). Ainsi, les ruptures apparaissent d'autant plus tôt, donc à des températures d'autant plus élevées, que la vitesse de refroidissement et le gradient de retrait correspondant sont plus forts. Un refroidissement rapide à fort gradient de retrait conduit à une fissuration plus fine, plus dense et moins régulière qu'un refroidissement plus lent à faible gradient de retrait qui donne lieu à des fissurations plus régulières et à des colonnes de plus grand diamètre.

- Pressions

Les pressions qui peuvent agir sur un volume lavique au moment de sa mise en place et de son refroidissement ont aussi une influence sur les caractères des fissures de retrait, en particulier leur disposition et leur densité; elles sont en relation, soit avec la force d'injection exercée par une lave en intrusion contre les épontes, soit avec le poids d'une colonne de lave sur les niveaux inférieurs d'une coulée. En règle générale, une lave est d'autant plus finement et régulièrement diaclasée ou prismée que les pressions sont fortes, ce qui se vérifie souvent dans le cas des dykes au contact des épontes, ainsi que dans les coulées banales où les prismes de la base sont souvent plus fins que ceux qui les surmontent. C'est d'ailleurs probablement pour cette raison que des dolérites se prisment souvent bien en intrusions, mais beaucoup plus difficilement en coulées subaériennes.

- Tensions

Enfin, les tensions subies par une lave pendant son refroidissement jouent aussi un rôle déterminant dans la formation des diaclases. Ainsi, une coulée qui arrête sa progression sur une pente parce que sa viscosité est devenue trop forte, perd son aptitude à se prismer régulièrement. Des tensions fortement anisotropes s'établissent dans l'épaisseur, conduisant à la mise en place de sortes de bancs d'écoulement différentiel parallèles les

uns aux autres et séparés par des discontinuités de vitesse qui finissent par se figer sous tension. Une fois la solidification achevée, ces discontinuités constitueront autant de plans de clivage avec pour résultat une division en dalles ou lauzes qui ne doit rien à des processus d'altération ou de désagrégation liés à l'érosion. Au contraire, la division en prismes réguliers est l'indice d'une isotropie des tensions qui caractérise une lave immobile pendant les phases critiques d'augmentation de sa viscosité. De la même façon, on peut considérer qu'un dyke prismé perpendiculairement à ses épontes était déjà arrêté sans tensions lors du retrait de la lave, alors qu'un autre débité en plaquettes parallèles à ses bords s'est arrêté en raison de l'augmentation de sa viscosité alors qu'il était encore en progression.

2. Compréhension actuelle des mécanismes de prismation

Un certain nombre de mécanismes ont été suggérés au cours des siècles pour expliquer la formation de ces mystérieuses colonnes prismatiques. On a d'abord longtemps cru en la théorie du Neptunisme selon laquelle, par analogie à un cristal de quartz de forme similaire, les colonnes s'étaient formées par précipitation d'une roche volcanique à partir de l'eau! Il faut attendre le début du 19èsiècle pour voir apparaître une théorie plus plausible proposée par Watts en 1804 (4) soutenant que "dans la surface ou les surfaces qui les premières se refroidissent lentement, il se forme un lit de sphéroïdes dont les centres sont plus ou moins équidistants. Ces sphéroïdes, augmentant graduellement de volume, se compriment latéralement les uns les autres, et prennent la forme hexagonale lorsque la pression est égale de tout côté. Si nous supposons la nappe basaltique horizontale, ces sphéroïdes pourront s'allonger indéfiniment vers le haut...; il en résultera une multitude de prismes accolés les uns aux autres et perpendiculaires à la surface sur laquelle se sont d'abord formés les sphéroïdes". L'idée a été reprise en 1916 par Sosman (5) sous la forme d'une théorie encore en voque chez certains auteurs (6), suggérant de considérer les colonnes comme un empilement de cellules de convection à contour hexagonal. Même s'il est exact que des cellules de convection appelées "cellules de Bénard - Marangoni" se forment au chauffage par en-dessous dans certains liquides en couches minces, il est plus difficile d'admettre qu'un phénomène analogue soit transposable au refroidissement de laves en forte épaisseur. L'analogie possible entre les contours polygonaux des cellules ne repose d'ailleurs sur aucune preuve expérimentale, pas plus que leur possibilité d'empilement sous forme de colonnes.

Dans l'état actuel des connaissances, la seule théorie qui soit reconnue comme la plus fondée sur le plan physique et expérimental s'appuie sur les arguments développés par R.Mallet (7) en 1875 dont nous présenterons ici très succinctement les évolutions les plus récentes.

a) Formation des diaclases au refroidissement des laves (8)(9)

Considérons, pour simplifier, une tranche de coulée que l'on supposera immobile et refroidissant naturellement par la base, les autres surfaces de refroidissement étant négligées. Entre la mi-épaisseur de la coulée et le substratum s'établit un gradient de température que l'on peut identifier dans ce cas, par des isothermes parallèles à la surface de refroidissement (Figure 6). Une surface isotherme particulière correspondant au solidus marque le début de la solidification, là où la température est la plus basse. Au fur et a mesure du refroidissement, le front de solidification se déplace ainsi progressivement du bas vers le haut, c'est-à-dire du substratum vers la mi-épaisseur de la coulée.



Surface de refroidissement (substratum)



Comme dans la plupart des matériaux, le retrait correspondant à la diminution de volume lors du passage de l'état liquide à l'état solide provoque l'accumulation de contraintes internes de tension d'origine thermique qui sont distribuées dans le plan de solidification. Si elles n'ont pas la possibilité de se dissiper sous d'autres formes (écoulement visqueux ou déformation plastique), compte-tenu de la vitesse de refroidissement, ces tensions finiront par se libérer en provoquant une rupture brutale dans un plan perpendiculaire à leur direction principale; une diaclase s'ouvrira donc perpendiculairement à ce front et au plan de refroidissement. Le craquèlement des argiles au fond d'une mare qui s'assèche donne une idée du processus qui se déroule, au sein d'une coulée, sur un plan donné correspondant à un isotherme de refroidissement (Figure 7).



Figure 7. Fentes de dessication sur un sol argileux

Une fois amorcée, la fissure avance d'un bond vers l'intérieur de la coulée et s'arrête net dès que le front de fissuration rentre dans un domaine où les contraintes internes peuvent à nouveau se redistribuer par écoulement visqueux ou déformation plastique. Ce domaine correspond à un très faible intervalle de température appelé la transition vitreuse Tg (10). Le front de solidification (et de contraction volumique) continuant d'avancer, des tensions s'accumulent à nouveau en arrière du front de solidification et ainsi de suite.

Dans le modèle considéré ici, on constate donc que les diaclases:

- s' ouvrent perpendiculairement à un isotherme de refroidissement donc verticalement par rapport au substratum et

- ne se propagent pas de façon continue mais discontinue, par bonds successifs, en laissant des stries sur les faces des colonnes.

A chaque strie sur la face d'un prisme correspond son homologue sur la face opposée du prisme voisin. Ces stries que l'on remarque facilement à l'oeil nu quand elles ne sont pas dégradées par l'érosion, sont composées typiquement d'une alternance de bandes rectangulaires, perpendiculaires à l'axe des colonnes et juxtaposées comme les lames d'un parquet (Figure 8).





Figure 8. Stries marquant la progression par bonds successifs d'une diaclase verticale dans deux colonnes contiguës. Starvifoss (Islande).

Chaque bande d'aspect lisse correspond à une surface de rupture fragile; elle est séparée de la suivante par une ligne d'arrêt de la fissure dans un milieu à comportement viscoplastique, comme indiqué précédemment. A la surface des bandes d'aspect fragile, on observe souvent la présence d'un faciès en "plume d'oiseau" dont la principale caractéristique est d'être composé de lignes très fines partant en éventail à partir d'un point situé entre deux bandes successives (11). Le point de divergence des lignes correspond au point d'amorçage de la rupture fragile de la bande suivante tandis que leur orientation indique leur direction de propagation.

b) Influence de la vitesse de refroidissement et du gradient thermique

Il semble aujourd'hui bien établi que le diamètre des colonnes et la largeur des stries varient en relation inverse avec la vitesse de refroidissement ($\partial T/\partial t$) et le gradient thermique ($\partial T/\partial X$) au sein de la coulée. Ainsi, dans l'hypothèse d'un refroidissement conductif, des colonnes de faible diamètre correspondraient à une vitesse de refroidissement élevée et des stries très étroites à un fort gradient thermique; au contraire, des colonnes de grand diamètre correspondraient à une faible vitesse de refroidissement et des stries très espacées à un faible gradient thermique (12). La diminution de la vitesse de solidification depuis la surface jusqu'au coeur de la coulée devrait donc s'accompagner d'une augmentation progressive du diamètre des colonnes et de la largeur des stries. Des mesures réalisées récemment sur différents sites, notamment à la Columbia River (Oregon, USA) confirment cette hypothèse (11); elles montrent que que la largeur des stries augmente bien avec la distance par rapport à la surface de refroidissement, du moins jusqu'à une certaine hauteur au-delà de laquelle la largeur des stries devient sensiblement constante et statistiquement proportionnelle à la largeur moyenne des faces de colonnes. Comment peut-on interpréter observations?

L'augmentation de la largeur des stries à partir de la surface permet de supposer un refroidissement lent de la lave par *conduction* en relation inverse à la racine carrée du temps, la limite de chaque strie correspondant à un isotherme de refroidissement;

Au-delà d'une certaine hauteur par rapport à la surface de refroidissement, au contraire, l'observation d'une largeur fixe de stries témoignerait d'une stabilisation du flux de chaleur qui deviendrait *convectif* et concernerait d'ailleurs aussi bien la structure colonnaire supérieure (au contact de l'air) que l'inférieure (au contact du substratum) où les mêmes observations peuvent être faites. L'hypothèse que plusieurs auteurs considèrent comme la plus vraisemblable (10)(11) (12) serait celle d'un transport de la chaleur par circulation capillaire d'un film d'eau entre la pointe de la fissure où l'eau se transformerait en vapeur et le reste de la colonne où l'eau serait à l'état liquide. L'évacuation de la chaleur serait ainsi assurée, dans le cas des colonnes inférieures, par l'eau de la nappe phréatique et, dans celui des colonnes supérieures, par les eaux superficielles.

Quoiqu'il en soit, la nature de la lave et les conditions de refroidissement, stables ou perturbées, ont aussi leur importance. Les observations de terrain montrent, par exemple, que la largeur des stries peut varier de quelques millimètres pour des basaltes noirs compacts et vitreux à un ou deux mètres pour des laves à texture grossière. De façon générale, une succession de stries régulièrement juxtaposées témoigne de laves homogènes et finement microlithiques soumises à un refroidissement continu, tandis que des figures de formes quelconques et mal délimitées seraient plutôt le résultat d'un refroidissement plus chaotique et de laves plus hétérogènes. En conclusion, la part est parfois difficile à faire entre gradient de température, régularité du refroidissement et finesse ou homogénéité des laves.

c) Organisation des diaclases en divisions polygonales

L'affleurement d'une colonnade sur le terrain montre généralement des prismes de section à peu près homogène et régulièrement disposés avec des jonctions en Y où les diaclases forment un angle d'environ 120°. Si l'on examine en revanche la surface de refroidissement d'une coulée à colonnades il est facile de constater que les diaclases y sont disposées de façon beaucoup moins régulière et qu'elles s'apparentent plus aux réseaux de fissures que l'on peut observer, par exemple, à la surface d'une faïence ou d'une boue asséchée. Les figures polygonales y sont de dimensions variables, avec des jonctions, non pas à 120° comme pour les colonnades, mais plutôt à 90°. Entre la surface de refroidissement d'une coulée et environ un mètre ou deux de profondeur, il apparaît donc que les diaclases s'autoorganisent à la fois en dimensions et sur le plan géométrique jusqu'à former des figures régulières sur une grande hauteur. Le dessèchement d'une solution aqueuse d'amidon de maïs ou de blé permet d'observer le même phénomène (2).

Si le mécanisme d'auto-organisation des diaclases demeure aujourd'hui encore assez mystérieux, on sait en revanche depuis fort longtemps que la géométrie "en nid d'abeille" des structures colonnaires profondes est l'organisation idéale qui correspond à un optimum de relaxation des contraintes internes de tension par unité de longueur d'une fissure. En théorie, les prismes hexagonaux devraient donc être uniques. Dans la réalité, ils coexistent avec des prismes à trois, quatre, cinq, sept ou huit côtés, selon une distribution normale en fréquence avec une moyenne centrée cependant sur la géométrie hexagonale qui est majoritaire. D'après une étude réalisée récemment par simulation numérique (13), le principe de l'énergie interne minimale associé à la géométrie hexagonale ne serait pas incompatible avec la présence d'autres types de figures prismatiques. Les résultats obtenus montrent en particulier qu'il existe un excellent accord entre la distribution statistique en fréquence des différents types de prismes mesurés sur le terrain à la Chaussée des Géants ou modélisés, soit numériquement, soit de façon analogique par dessèchement d'une solution aqueuse d'amidon de maïs (Figure 9).



Figure 9.1

Figure 9.2

Figure 9.1 Organisation du réseau de diaclases modélisé par simulation numérique depuis la surface de refroidissement (a) jusqu'à un état stable en profondeur (c) et dans un état intermédiaire (b). A chaque étape du calcul, la configuration des noeuds est modifiée suivant le schéma (d), de sorte que la nouvelle topologie des diaclases minimise l'énergie interne du système (Ref.13). Figure 9.2 a) Histogramme en fréquence du nombre de faces des colonnes déterminé par simulation numérique. Comparaison aux résultats des mesures réalisées à la Chaussée des Géants (Giant's Causeway) et en laboratoire, par dessication d'une solution aqueuse d'amidon de maïs (cornstarch). b) Surface normalisée des polygones en fonction du nombre de faces des polygones. Comparaison entre les résultats de simulation numérique (this work) et les mesures réalisées à la Chaussée des Géants (Giant's Géants (Giant's Causeway).

En conclusion, il existe aujourd'hui un certain nombre d'arguments fondés sur l'expérience et la modélisation qui vérifient la théorie avancée par R.Mallet en 1875 selon laquelle la formation des colonnes prismatiques serait la conséquence de fissurations perpendiculaires aux surfaces de refroidissement sous l'effet de contraintes de traction horizontales provoquées par le retrait des laves à la solidification. L'organisation des fissures en prismes à contours majoritairement hexagonaux ou pentagonaux correspondrait à une minimisation des contraintes internes d'origine thermique consécutives au retrait.

3. Cas des coulées à entablement de faux prismes

Cette architecture caractérise essentiellement les laves basaltiques, coulées ou lacs de lave, mais on la rencontre aussi parfois dans d'autres types de laves telles que les téphrites (Italie) ou les doréites (Mont Dore). La zone des faux prismes est souvent la plus importante en épaisseur. Ainsi, dans le cas des lacs de lave occupant d'anciens maars, l'épaisseur de l'entablement peut atteindre la centaine de mètres. Notons enfin qu'en ce qui concerne les coulées anciennes et déjà érodées, la fausse colonnade qui surmonte la zone d'entablement est souvent absente car emportée par l'érosion.

Dans bien des cas, comme par exemple à la coulée de Jaugac (Ardèche), le passage de la colonnade à l'entablement a lieu sans transition par un contact net et rectiligne très régulier. La présence constante, sans aucune exception, de deux types de faciès, l'un plus cristallisé dans la colonnade, l'autre plus vitreux dans l'entablement, est un des critères les plus remarquables de ces coulées. Comme déjà indiqué précédemment, la zone d'entablement doit son aspect noir au verre de couleur brun-mauve qui constitue la mésostase. C'est probablement la présence de ce verre qui est responsable, du moins en partie, du débit de la lave en prismes mal formés et du blocage de la cristallisation des plagioclases en fin de solidification. Mais sa présence au coeur des épanchements est un paradoxe car on pourrait s'attendre à trouver les laves les plus cristallisées au milieu des coulées, c'est-àdire au niveau de l'entablement de faux prismes car c'est là que le refroidissement et donc le temps de cristallisation ont dû être les plus longs. Par analogie avec les faciès similaires que l'on peut observer dans les pillow lavas, certains auteurs expliquent la présence d'un verre de couleur brun-mauve dans la zone d'entablement par l'action oxydante de l'eau (3)(14). On note en effet que les coulées à entablement de faux prismes se situent généralement dans des vallées où, avant occupé le lit d'anciens cours d'eau et recouvert des nappes phréatiques, elles ont fossilisé des alluvions. En passant à l'état de vapeur, l'eau a pu pénétrer sous pression dans la lave en fusion et y provoquer l'oxydation du verre pour finalement lui donner, après des jours, voire des semaines ou des mois de refroidissement, sa couleur brun-mauve. De toute évidence, les actions oxydantes de l'eau à l'origine du verre brun-mauve de la mésostase n'ont pu s'exercer qu'après solidification extérieure de la coulée sous forme d'une gangue refroidie et figée plus rapidement tandis qu'à l'intérieur de la coulée, la lave restée liquide plus longtemps a pu poursuivre son écoulement et évoluer chimiquement en s'oxydant pour se transformer finalement en verre brun, lui-même ensuite incapable de cristalliser. Selon certains auteurs (3), c'est la poursuite de cet écoulement interne sur le niveau déjà arrêté de la colonnade qui serait vraisemblablement à l'origine du contact net et souvent rectiligne que l'on observe entre la colonnade et l'entablement de faux prismes. D'autres pensent au contraire que les faux prismes seraient une conséquence des perturbations causées par les courants de convection dans une coulée encore liquide mais immobile (6). Le débat n'est donc pas entièrement tranché à ce sujet.

Conclusion

Si le mécanisme de formation des diaclases pendant la solidification des laves est aujourd'hui communément admis, l'auto-organisation des fissures de retrait depuis la surface jusqu'en profondeur sous forme de prismes ordonnés de façon régulière reste en revanche toujours discuté. Même s'il est théoriquement reconnu que l'hexagone est la géométrie idéale qui minimise les contraintes internes dues au retrait, la présence d'autres types de figures prismatiques demeure inexpliquée par des arguments physiques. De même, la présence d'une limite nette et rectiligne, sans transition, entre les colonnes et l'entablement de faux prismes fait toujours l'objet d'un débat. Les mystérieuses colonnes basaltiques n'ont donc pas encore révélé tous leurs secrets...

Glossaire

Conduction/Convection "Termes qui s'appliquent en physique pour définir un mécanisme de transfert de chaleur ayant lieu:

- soit par contact entre deux matières ;
- soit par mouvement libre ou forcé d'un fluide (liquide ou gaz)

Diaclase: "Le terme de diaclase, du grec *dia*(par) et *klasis* (fracture, rupture) désigne l'épisode au cours duquel une roche se fend sans que les parties disjointes s'éloignent l'une de l'autre (ne pas confondre avec la faille). Il n'y a ni déplacement (pas de rejet) ni de remplissage. Ce type de fracture est souvent orienté perpendiculairement aux limites de stratification"

Doléritique:" Une structure doléritique est composée de cristaux en baguettes visibles à l'oeil, prises dans une pâte de cristaux plus petits"

*Dyke: "*Intrusion de roche magmatique dans une fissure verticale de l'encaissant. L'épaisseur d'un dyke peut varier de quelques centimètres à quelqhes dizaines de mètres tandis que son extension horizontale peut atteindre plusieurs kilomètres. Après érosion de l'encaissant, un dyke peut se retrouver isolé et former un mur"

Eponte: "Parois d'une galerie, d'un filon ou d'un boyau souterrain"

Mésocrate: "Désigne une roche magmatique contenant des minéraux blancs et des minéraux noirs en quantités à peu près égales"

Mesostase: " Dans les roches volcaniques, matière vitreuse ou très finement cristalline remplissant les espaces entre les cristaux"

Microlitique (ou microlithique): "Une roche a une structure microlithique lorsque ses minéraux sont formés de microlites, petits bâtonnets millimétriques, noyés dans une pâte vitreuse. Les roches à structure microlithique sont d'origine volcanique; elles se forment par refroidissement rapide d'un magma, par exemple le basalte"

Prisme:" Polyèdre ayant pour bases deux polygones égaux et parallèles, dont les côtés homologues sont unis par des parallélogrammes"

Retrait: "Contraction volumique au refroidissement, lors du passage de l'état liquide à l'état solide"

Substratum:" En géologie, couche inférieure sur laquelle repose une couche plus récente. Ce qui sert de fondement, de base"

Références bibliographiques

(1) G.Müller "Starch columns: analog model for basalt columns" Journal of Geophysical Research, Vol.103, Issue B7, pp15239-15254, Juillet 1998.

(2) L.Goehring et S.W.Morris "Order and disorder in columnar jpoints" Europhysics Letter, 69, 739-745, 2005.

(3) G.Kieffer et J.P.Raynal "De l'éruption au site préhistorique en haute-Loire (France). Mise en place, prismation, altération et érosion des coulées de lave, formation et évolution des abris sous-basaltiques" TEPHRAS, chronologie, archeologie, sous la direction de E.Juvigné et J.P.Raynal, les dossiers de l'Archéologie-Logis no 1, juillet 2001. CFRAD éditeur-43150 Goudet.

(4) Extrait de "Recherches sur la partie théorique de la géologie" par Henry de la Bèche. Editeur F.G. Levrault, Paris, 1838.

(5) R.B.Sosman "Types of prismatic structures in igneous rocks" Journal of Geology, Vol.4, pp 215-234, 1916.

(6) A.Guillon "La prismation dans les roches magmatiques" SAGA Information no227, mai 2003.

(7) R.Mallet "On the origin and mechanism of production of the prismatic (or columnar structure of basalt", Phil. Mag., 50, 1875, 122-135 et 201-226.

(8) M.P.Ryan et C.G.Sammis "Cyclic fracture mechanisms in cooling basalt", Geol.Soc.Am.Bull., Vol.89,pp1295-1308,1978.

(9) P.Budkewitsch et P.Y.Robin "Modelling the Evolution of Columnar Joints" Journal of Volcanology and Geothermal Research 59.3, pp 219-239, 1994.

(10)M.P.Ryan etC.G.Sammis "The glass transition in basalt" J.Geophys. Res., Vol.86, pp 9519-9535, 1981.

(11) L.Goehring et S.Morris "The scaling of columnar joints in basalt" Journal of Geophysical Research, Vol.113, B10203, 2008.

(12) K.A. Grossenbacher et S. M.McDuffie "Conductive cooling of lava: columnar joint diameter and stria width as functions of cooling rate and thermal gradient" Journal of Veleganology and Gosthermal Research, Velume 69, Josues 1, 2, pp.95, 103, decembre 1996

Volcanology and Geothermal Research, Volume 69, Issues 1-2, pp 95-103, decembre 1995. (13) E.A. Jagla et A.G. Rojo "Sequential fragmentation process: The origin of columnar guasi-hexagonal patterns" Phys. Rev. E, Volume 65, Issue 2, janvier 2001.

(14) J.M.Degraff, P.E.Long et A.Aydin "Use of joint-growth directions and rock textures to infer thermal regimes during solidification of basalt flows" Journal of Volcanoly and geothermal Research, Vol.38, pp 309-324, 1989.