



De l'éruption au site archéologique en Haute-Loire (France) : mise en place, prismation, altération et érosion des coulées de lave, formation et évolution des abris sous-basaltiques

Guy Kieffer, Jean-Paul Raynal

► To cite this version:

Guy Kieffer, Jean-Paul Raynal. De l'éruption au site archéologique en Haute-Loire (France) : mise en place, prismation, altération et érosion des coulées de lave, formation et évolution des abris sous-basaltiques. *Tephros, chronology, archaeology*, ss la dir. de E. Juvigné et J.P. Raynal, Les dossiers de l'Archéo-Logis n°1, 2001, Goudet, France. pp.159-173. halshs-00004106

HAL Id: halshs-00004106

<https://shs.hal.science/halshs-00004106>

Submitted on 12 Jul 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Juillet 2001

TEPHRAS

chronologie
chronology

archéologie
archeology

sous la direction de E. Juvigné et J.-P. Raynal

édité avec le concours de la région Auvergne et du Conseil Général de Haute-Loire

les dossiers de l'Archéo-Logis n°1

CDERAD éditeur - 43150 Goudet

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

From eruption to prehistoric site in Haute-Loire (France). Flowing and cooling, columnar jointing, alteration and erosion of lava flows, formation and evolution of basaltic rock shelters

Guy Kieffer¹ et Jean-Paul Raynal²

Résumé : les auteurs analysent les caractères des coulées de laves dans lesquelles se sont développés les abris sous-roche occupés pendant la préhistoire en Haute-Loire. Ils insistent sur les modalités de la fissuration et de la prismation qui caractérise les différentes parties d'une coulée après son refroidissement et sur leur rôle morphologique ultérieur lors de l'altération et de l'érosion. La formation d'abris sous-roche et le développement de leurs remplissages sont très largement contrôlés par les conditions périglaciaires pléistocènes mais restent dépendantes de cette prismation initiale et de son altération.

Mots-clés : coulées basaltiques, fissuration, prismation, abris sous-roche, Haute-Loire, France.

Abstract: fissuration and columnar jointing of basaltic lava flows from Haute-Loire are described. These features characterize the different parts of flows and develop during their cooling. They play an active morphologic role during alteration and erosion. They widely control the evolution of basalt cliffs and the development of rock shelters under pleistocene periglacial climates.

Keywords: basalts, lava flows, fissuration, columnar jointing, rock-shelters, Haute-Loire, France.

Les sites d'habitats préhistoriques, d'origine naturelle, sont liés à la fois à la nature géologique des matériaux où ils se trouvent et aux divers processus d'évolution morphologique qui les ont modelés. En Haute-Loire, où ils sont nombreux, ils se rencontrent essentiellement dans les formations volcaniques : cratères, grottes dans des brèches hydro-magmatiques, pieds de falaises laviques. La majorité d'entre eux a été retrouvée sur les versants des vallées de l'Allier et de la Loire ou de leurs affluents, dans des abris sous-roche ouverts à la base de coulées basaltiques et perchés à quelques dizaines de mètres au-dessus des talwegs actuels. Ils résultent de l'érosion des rebords de ces coulées descendues des plateaux voisins, en particulier le Devès, et qui ont partiellement ennoyé le réseau hydrographique, en plusieurs phases.

Avant d'aborder les problèmes spécifiques des abris sous coulée dans le contexte précis du volcanisme plio-quaternaire de la Haute-Loire, nous envisagerons quelques aspects des conditions volcanologiques et lithologiques de départ qui conditionnent largement les possibilités d'évolution morphologique des coulées de lave.

1. Les coulées de lave

Les coulées sont les produits liquides des éruptions. Elles s'épanchent en suivant les pentes. Elles constituent des milieux laviques continus, à l'inverse des pyroclastites qui constituent des milieux laviques discontinus.

1.1. Généralités

1.1.1. De l'unité lavique aux champs de lave

La terminologie volcanologique distingue plusieurs ordres de grandeur dans les coulées de lave (Kieffer, 1994).

L'unité lavique, qui peut n'être qu'une simple bavure continue de lave, comme les "toes" (protubérances bulbeuses ou tubes de quelques mètres de longueur), en constitue la forme élémentaire.

La coulée proprement dite correspond en général aux produits d'une éruption assez liquides pour couler. Il s'agit le plus souvent d'un ensemble d'unités laviques superposées ou juxtaposées. En domaine basaltique, les coulées atteignent communément plusieurs kilomètres de longueur.

1. UMR 6042 et GDR 1122 CNRS, Laboratoire de Géographie Physique, Maison de la Recherche, 4, rue Ledru, 63057 Clermont-Ferrand Cedex (France).

2. UMR 5808 et GDR 1122 CNRS, Institut de Préhistoire et de Géologie du Quaternaire, Avenue des Facultés, 33405 Talence (France)

Certaines, très alimentées, peuvent avoir des dizaines, voire des centaines de kilomètres de longueur, comme des coulées miocènes des plateaux de la Colombia River (USA) (Tolan *et al.*, 1989).

Le *champ de lave* est une accumulation d'unités laviques réparties en éventail à partir des points de sortie. Sa formation peut demander des mois ou des années et suppose des effusions tranquilles, permanentes et à faible débit de laves fluides qui, vite refroidies, ne parcourent que de faibles distances et s'accumulent pour former des coupôles surbaissées autour des cratères.

1.1.2. Conditions de mise en place des coulées

Les taux d'émission jouent un rôle déterminant. Les plus forts débits caractérisent en principe les premières phases des éruptions et permettent aux coulées de s'avancer parfois sur de longues distances dès les premières heures ou les premiers jours des manifestations.

La nature de la lave, qui détermine sa viscosité, constitue un autre facteur essentiel dans la mise en place et l'aspect des nappes de lave. Les laves basaltiques sont les plus fluides. Elles peuvent atteindre des vitesses de plusieurs dizaines de kilomètres à l'heure et, avec une alimentation suffisante, former rapidement des coulées étendues. Les laves acides (trachytes, rhyolites, phonolites, ...), de plus forte viscosité, donnent des coulées plus courtes et plus épaisses. Les plus visqueuses d'entre elles sont incapables de couler et s'accumulent sur place pour construire des dômes. La durée de l'éruption est aussi très importante et, en fonction du taux d'émission moyen, conditionne le volume total émis.

1.1.3. Rôle de la topographie pré-éruptive

Les reliefs sur lesquels s'épanchent les laves jouent également un grand rôle dans la configuration des coulées. Sur des topographies planes, les coulées vont s'étaler avec des extensions linéaires plus réduites. Lorsqu'elles s'écoulent dans des vallées étroites, surtout s'il s'agit de laves fluides et émises à fort taux d'émission, elles vont être canalisées pour former des langues filiformes beaucoup plus longues. Mais, la répétition des éruptions, avec mise en place de nombreuses coulées à une cadence trop rapide pour que l'érosion ait le temps d'exhumer les talwegs fossilisés entre chacune d'elles, peut finir par combler et faire disparaître un réseau hydrographique.

1.1.4. Morphologie superficielle des coulées

Les laves fraîches présentent des surfaces chaotiques appelées "cheires" dans la terminologie auvergnate. En fait, on distingue classiquement trois types essentiels de morphologie superficielle de coulées : "pahoehoe", "aa" et "block lava" (MacDonald, 1953 ; Kieffer, 1979 a, 1994).

Le pahoehoe et le aa (termes empruntés au langage hawaïen) se rencontrent essentiellement sur les épanchements basaltiques (s. l.).

Le pahoehoe présente des surfaces lisses, souvent continues. Il montre des irrégularités résultant de la déformation ou de la fragmentation de ces surfaces. Ce caractère résulte du fait que les laves pahoehoe se déplacent à la manière d'un sucre fondu, en se recouvrant d'une peau de refroidissement capable de se déformer comme la peau du lait, mais susceptible de se briser une fois devenue une croûte durcie. Les laves cordées sont l'une des figures classiques des ensembles pahoehoe.

Le aa (laves en gratons ou coulées à gratons) présente une surface formée par l'accumulation d'éléments meubles scoriacés (gratons ou clinkers). A la base se retrouve une brèche (brèche de progression) formée des mêmes fragments que ceux de la surface, d'abord éboulés du front de la coulée en progression, puis recouverts par son avancée. Mais, au sein d'une unité lavique existe toujours une semelle de lave continue qui assure le mouvement tant qu'elle reste fluide. Les éléments scoriacés résultent de la fragmentation, par les mouvements de mise en place, d'une écume superficielle formée par la montée des gaz au sommet de la coulée.

Le *block lava* (laves en blocs ou coulées à blocs) caractérise surtout les laves acides. Sa surface est grossièrement comparable à celle des coulées aa. Mais, elle correspond à des chaos de blocs peu ou non vésiculés, de forme polyédrique et anguleuse, issus de la fragmentation, sous la poussée d'une lave interne encore fluide, de volumes laviques déjà solidifiés.

1.1.5. Fissuration des parties internes des coulées

L'intérieur de certaines coulées peut présenter des fissurations acquises au cours de la mise en place. C'est le cas de laves visqueuses, en particulier dans les coulées à blocs, où le déplacement différentiel de bancs laviques à des degrés divers de solidification peut créer des vides, de la simple diaclase à l'ouverture béante (Kieffer, 2001).

Les laves se refroidissent progressivement, déjà pendant leur écoulement, puis une fois arrêtées lorsque leur viscosité est devenue trop importante pour leur permettre de continuer d'avancer. Le refroidissement s'accompagne d'une légère diminution de volume, le *retrait*.

Comme la forte viscosité empêche les laves d'avoir un comportement de liquide au moment du retrait, il se produit des cassures au sein des coulées pour compenser cette diminution de volume. La densité, la disposition et la largeur des cassures sont variables et dépendent de plusieurs facteurs : conditions de mise en place et de refroidissement, mais aussi caractères lithologiques des laves. Dans les cas favorables, elles s'ordonnent géométriquement pour créer des divisions polygonales régulières, la *prismation*.

Une conséquence de l'ensemble de ces fissurations est la perméabilité des coulées et leur capacité d'absorber de gros volumes d'eau d'infiltration. Elles contribuent ainsi à la formation d'aquifères qui alimentent des sources généreuses à la périphérie des zones volcaniques. Mais, elles jouent aussi un rôle essentiel dans l'érosion et la destruction de ces coulées.

1.2. Les coulées de lave des sites pré-historiques de la Haute-Loire

1.2.1. Contexte volcanologique et morphologique

En Haute-Loire, la plupart des habitats préhistoriques liés aux coulées se trouvent dans les vallées de l'Allier et de la Loire ou de leurs affluents. Les laves provenaient de volcans stromboliens situés sur les plateaux voisins, en particulier ceux de la chaîne du Devès. Entre les points de sortie et les vallées, les coulées ont d'abord trouvé des pentes douces où elles ont pu largement s'étaler. Puis, elles se sont engouffrées dans les vallées étroites et profondes qu'elles ont partiellement comblées et suivies sur plusieurs kilomètres.

Leur mise en place s'est surtout effectuée entre 3 et 1 Ma BP (E. Defive, 1996; E. Defive et J.-M. Cantagrel, 1998), en plusieurs phases éruptives séparées par des épisodes érosifs où a repris le creusement des vallées. Selon les secteurs et la cadence des éruptions, on se trouve en présence soit de superpositions de coulées, parfois séparées par des lits d'alluvions, comme dans la vallée de l'Allier près de Saint Arcons, soit d'emboîtements de coulées, surmontant également des alluvions, les plus récentes étant les plus proches des talwegs actuels, comme dans quelques sections de la vallée de la Loire entre Goudet et Chadron.

1.2.2. Caractères généraux

Les caractères des coulées concernées (épaisseur, longueur et volume), supposent des éruptions caractérisées par des taux d'émission et des productions magmatiques importants. Les laves devaient être très fluides au moment de leur sortie. Les fortes épaisseurs, comme dans la zone de Monistrol d'Allier ou d'Arlempdes (parfois de 50 à 100 m), ont été permises par l'étroitesse des vallées et sans doute par l'obstacle à l'écoulement provoqué, au front des épanchements, par la formation d'une gangue plus refroidie, scoriacée et visqueuse.

Il s'agit en général de basaltes alcalins sous-saturés, finement microlitiques et vitreux. Les témoins actuellement observables, en particulier des restes de chaires scoriacées, comme entre Costaros et l'axe de la chaîne du Devès, permettent de penser que ces coulées étaient essentiellement de type "aa". Leur recoupement par l'érosion, principalement dans les vallées, montre qu'elles avaient une belle aptitude à la prismation, avec le développement de remarquables colonnades de prismes réguliers ("orgues"), au-dessous d'entablements de "faux prismes" souvent mis en relief par l'érosion différentielle et à l'origine des abris sous-roche (Chilhac, Saint Arcons, Arlempdes...).

2. La prismation des laves

La prismation est la conséquence la plus spectaculaire du retrait qui affecte les laves pendant leur refroidissement. Mais, toutes ne se prismant pas, car la division polygonale régulière demande des conditions assez précises.

2.1. Principe de la prismation

2.1.1. Surfaces isothermes de refroidissement et fissures de retrait

Le refroidissement des laves s'effectue depuis le substratum fossilisé, le sommet et les rebords des coulées, mais aussi les épontes des intrusions. Sa progression à l'intérieur des volumes laviques correspond au déplacement de surfaces isothermes de températures de plus en plus basses, selon lesquelles se produit la diminution de volume qui entraîne les ruptures à l'origine des diaclases délimitant les prismes. Le craquellement des argiles du fond d'une mare qui se dessèche (figure 1) donne un exemple du processus tel qu'il se déroule, au sein d'une coulée, sur un plan donné traversé par ces surfaces isothermes de refroidissement.

Les cassures qui accompagnent le retrait s'ouvrent par ruptures successives en suivant la progression des surfaces isothermes de refroidissement. Ces ruptures peuvent laisser leurs empreintes sur les faces des diaclases ainsi créées.



Figure 1. Fissurations dans des argiles desséchées (zone de l'Etna, Sicile) (cliché G. Kieffer).

A chaque empreinte, sur une face de prisme ou de tout autre volume lavique, correspond une contre-empreinte sur la face opposée du prisme ou du volume lavique voisin. Souvent courbes, ces empreintes ont des largeurs variables, de quelques millimètres (basaltes noirs compacts et vitreux) à un ou deux mètres (laves à texture grossière). Les plus spectaculaires témoignent d'une progression régulière du refroidissement dans des laves homogènes et finement microlitiques : elles correspondent à des bandes rectangulaires, perpendiculaires à l'axe des prismes et juxtaposées comme les lames d'un parquet (Chilhac) (figure 2). Ces figures sont moins évidentes, de formes quelconques et mal délimitées dans les milieux où les conditions de refroidissement ont été moins régulières et/ou avec des laves plus hétérogènes.



Figure 2. Empreintes des ruptures successives de retrait, à l'origine des prismes. Chilhac, Haute-Loire (cliché G. Kieffer).

2.1.2. Disposition par rapport au substratum fossilisé

Dans un schéma simple, les prismes se développent perpendiculairement aux surfaces de refroidissement, en application du principe du déplacement des surfaces isothermes de refroidissement depuis le substratum fossilisé ou les surfaces exposées à l'air libre des coulées. La topographie pré-éruptive joue par conséquent un rôle essentiel dans leur disposition. Ils sont logiquement verticaux dans les nappes de lave étalées sur des surfaces horizontales et inclinés dans les volumes laviques qui moulent des versants (figure 3). Et, lorsqu'il en existe dans des dykes verticaux, ils apparaissent horizontaux (figure 4).

En réalité, les faits ne sont pas toujours aussi simples. Il existe divers facteurs qui favorisent ou au contraire compliquent et souvent même empêchent le développement des prismes (Kieffer, 1977).



Figure 3. Colonnade verticale sur substratum horizontal et inclinée contre un ancien versant. Faux-prismes au-dessus. Islande (cliché G. Kieffer).

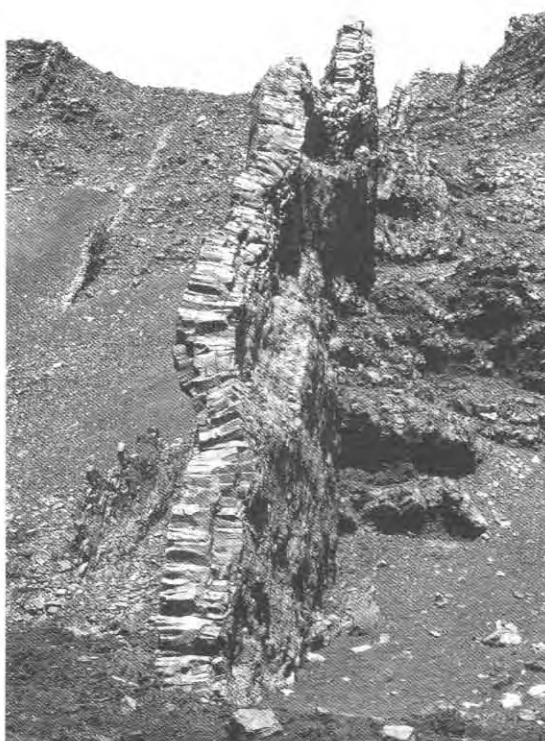


Figure 4. Prismation horizontale dans un dyke vertical. Etna, Sicile (cliché G. Kieffer).

2.2. Prismation et types de lave

2.2.1. Exemple des basaltes

Toutes les laves ne se prisment pas. Elles ne présentent pas non plus les mêmes aptitudes à être affectées par les diverses cassures liées au retrait.

Si l'on prend l'exemple des basaltes, on peut distinguer trois types de faciès lithologiques (Kieffer, 1968, 1971). Les basaltes à texture doléritique, de teinte grise, se prisment d'autant plus mal qu'ils sont plus poreux. Ils se divisent plutôt en blocs quelconques ou en larges dalles (figure 5). Les basaltes à texture microlitique fine et homogène, de teinte bleutée et peu poreux, se prisment bien : ce sont eux, avec quelques autres roches dont les phonolites, qui donnent les alignements de prismes ("orgues") les plus remarquables. Les basaltes vitreux (à verre brun-mauve), de teinte noire, compacts et de porosité nulle, donnent des prismes minces, irréguliers et enchevêtrés



Figure 5. Débit en dalles grossières d'une coulée de basalte doléritique (cliché G. Kieffer).

("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 (basalte noir compact), et au sommet, une *fausse colonnade* de prismes généralement plus grossiers que ceux de la colonnade (basalte bleuté) (Kieffer, 1969).

2.2.2. Autres types de roches

Les roches différenciées montrent, dans l'aptitude à la diaclasation et à la prismation, la même opposition entre faciès poreux et faciès compacts que les basaltes. Ainsi, on peut noter le contraste entre deux variétés de trachy-andésites des Monts Dore, la sancyite, claire et poreuse, incapable de se prisme et débitée en gros blocs informes, et la doréite, mésocrate et compacte, dont les coulées plus finement divisées exposent des colonnades de prismes bien formés. Le même contraste existe, dans des dômes ou protrusions, entre des trachytes poreux, comme la dômite de la chaîne des Puys, et des phonolites compactes, comme celles des sucs du Velay oriental.

Il faut aussi signaler que des ignimbrites soudées ou à faciès lavique et même des tufs indurés sont susceptibles de se prisme, ce qui atteste une mise en place à haute température. Pour ces formations, la texture du fond de la roche et la porosité jouent le même rôle, favorable ou défavorable à la prismation, que pour les laves proprement dites. De la même façon, des argiles, suffisamment chauffées par des laves qui les ont recouvertes ou traversées, peuvent présenter de fins prismes d'épaisseur centimétrique (argiles "frittées").

2.2.3. Différents types de prismes

Les prismes présentent des dimensions variables, de quelques dizaines de centimètres à plus d'une centaine de mètres de longueur et de quelques centimètres à plus de trois mètres d'épaisseur. Les plus larges appartiennent plutôt à des roches visqueuses dont le refroidissement a été lent. Les plus minces caractérisent en principe des laves basiques. Il a été question du rôle de l'eau et d'une mise en place sous-aquatique, donc d'un refroidissement instantané, dans le développement de petits prismes courts et étroits à la surface de certaines laves pahoehoe ("laves en pavés"). Mais, il a été montré que cette division polygonale fine et régulière est en fait commune à l'air libre sur ce type de laves dont elle affecte spécifiquement les croûtes superficielles, si celles-ci sont suffisamment continues, épaisses (décimétriques) et compactes (Kieffer, 1979 b).

La plupart des prismes possèdent cinq à sept faces, alors que dans un milieu isotrope idéal, ils devraient être tous *hexagonaux*. Il est encore possible d'en rencontrer à quatre ou huit faces et même, dans des intrusions (dykes, sills, ...), à trois faces.

Certains prismes peuvent avoir des formes particulières. C'est le cas des " faux prismes " des entablements de coulées, ainsi nommés en raison de leurs formes irrégulières et complexes. De faible largeur, ils sont limités par des faces courbes ou conchoïdales, témoins des ruptures successives qui les ont créés. Leur partie interne est elle-même parcourue par d'autres fissures de retrait, également courbes. Ils s'ordonnent en faisceaux divergents, gerbes ou rosaces, où se retrouve mal la logique d'une formation en fonction d'un déplacement de plans isothermes de refroidissement parallèlement aux surfaces de départ de ce refroidissement. Leur configuration résulte d'abord de la présence importante, dans la masse de la roche, de verre à l'origine du caractère conchoïdal des cassures liées au retrait et aussi, probablement, de courants de convection, qui agissent avant la solidification au sein des niveaux qui deviendront les entablements, en déformant et désordonnant les surfaces isothermes de refroidissement.

2.3. Facteurs qui favorisent ou empêchent la prismation

2.3.1. Texture, porosité et aptitude à la prismation

Il existe un *rapport constant* entre la texture pétrographique de la roche, sa porosité et son aptitude à la prismation. Les laves à mésostase finement microlitique, comme beaucoup de phonolites et de basaltes alcalins, possèdent la meilleure aptitude à se diaclaser régulièrement. Les laves à texture plus grossière et hétérogène se fissurent de façon plus aléatoire, avec des diaclases désordonnées et généralement plus espacées. Cette irrégularité est augmentée par la porosité, comme celle déterminée par les pores enserrés par la trame des baguettes de plagioclase dans la texture doléritique intersertale ou celle issue de la présence de vésicules de toutes tailles dans des laves acides, en particulier les laves vitreuses marquées par un début de poncification. Cette porosité, surtout dans les laves acides caractérisées par une fusion pâteuse (Carron *et al.*, 1965) et donc une solidification plus lente, est capable d'absorber et d'amortir, de l'échelle microscopique à l'échelle du bloc, une partie du retrait de la roche. La fissuration s'en ressent et s'exprime par des cassures plus laches et irrégulières. Il faut toutefois souligner que les obsidiennes compactes, de porosité pourtant nulle, ne se prisment guère.

L'importance des caractères lithologiques, qui conditionnent largement l'aptitude à la fissuration et à la prismation, se retrouve ensuite au niveau des possibilités d'altération et d'évolution morphologique des laves, en particulier en raison du rôle joué par la porosité.

2.3.2. Rôle de facteurs physiques : pressions et tensions

Les *pressions* qui peuvent agir sur un volume lavique au moment de sa mise en place et de son refroidissement influent sur les caractères des fissures de retrait, en particulier leur densité. Elles ont deux origines possibles : la force d'injection exercée par la lave d'une intrusion contre ses épontes et le poids d'une tranche de lave sur les niveaux inférieurs d'une coulée.

Ces pressions paraissent d'abord tendre à rendre les diaclases parallèles à la direction selon laquelle elles se produisent. Ceci explique sans doute que, dans de nombreuses intrusions (culots, necks) ou lacs de lave, on observe des prismations verticales, à peine dérangées près des épontes par l'esquisse d'une division perpendiculaire aux surfaces de refroidissement.

En outre, une lave est d'autant plus finement et régulièrement diaclasée ou prismée que ces pressions sont fortes, ce qui se vérifie souvent dans des dykes au contact des épontes et dans des coulées banales où les prismes de la base sont toujours plus fins que ceux qui les surmontent (figure 6).

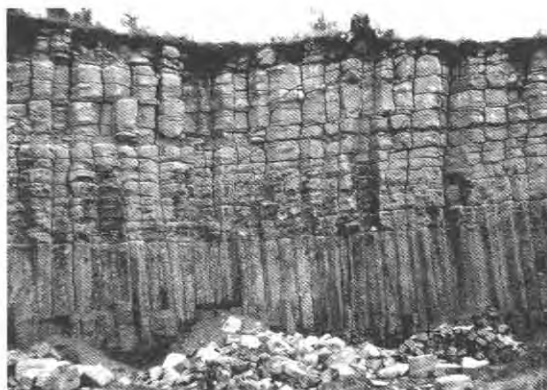


Figure 6. Coulée avec prismes plus étroits à la base et plus larges au sommet. Le Malzieu, Haute-Loire (cliché G. Kieffer).



Figure 7. Coulée débitée en dalles, preuve d'un refroidissement sous tension dans le plan de l'écoulement. Creste, Puy-de-Dôme (cliché G. Kieffer).

Ce sont probablement les fortes pressions qui permettent à des dolérites de bien se prisme lorsqu'elles se présentent en intrusions, alors que cela paraît leur être beaucoup plus difficile lorsqu'elles sont en coulées subaériennes. Les *tensions* enregistrées par les laves au moment de leur refroidissement jouent aussi un rôle déterminant dans la diaclason. Une coulée, qui stoppe son avancée sur une pente parce que sa viscosité est devenue trop forte, perd son aptitude à se prisme régulièrement. Sa masse est alors virtuellement composée de bancs d'écoulement différentiel, séparés par des plans parallèles à la fluidalité de la lave et qui se figent sous tension (*anisotropie* des tensions). Le retrait va faire apparaître des aptitudes à la diminution de volume différentes d'un banc de lave à l'autre. Les ruptures à l'origine des diaclases se produisent donc préférentiellement selon ces plans qui constituent autant de discontinuités au sein de la coulée. Le résultat est une division en dalles ou lauzes (figure 7), qui ne doit rien à des

processus d'altération ou de désagregation liée à l'érosion. La division en prismes réguliers est au contraire l'indice d'une *isotropie* des tensions qui caractérise des laves qui ont été immobiles au moment des phases critiques (susceptibles d'enregistrer les tensions) d'augmentation de leur viscosité (lac de lave, coulée épanchée sur une topographie plane ou contenue dans une gangue déjà refroidie,...). Ces observations permettent de se faire une idée assez sûre des conditions de mise en place de certaines coulées ou intrusions. Ainsi, si l'on examine la coulée qui moule le versant droit de la vallée de l'Ance, en amont de son confluent avec l'Allier au niveau de Monistrol, on constate qu'elle présente une colonnade basale de prismes assez bien formés (figure 8). Ce caractère permet d'estimer qu'elle n'est pas descendue sur le versant où elle se trouve, mais que, refluant de la vallée principale, elle a dû remplir la vallée en gonflant depuis le talweg pour s'immobiliser encore liquide une fois atteinte son épaisseur maximum. De la même façon, on peut considérer qu'un dyke prismé perpendiculairement à ses épontes était déjà arrêté sans tension lors du retrait de sa lave, tandis qu'un autre débité en plaquettes parallèles à ses rebords, c'est-à-dire à son plan de progression, s'est immobilisé en raison de l'augmentation de sa viscosité et alors qu'il était encore soumis aux poussées responsables de son injection.

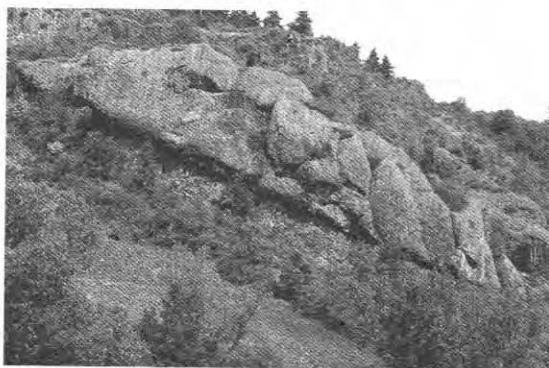


Figure 8. Coulée à entablement de faux-prismes plaquée sur un versant, avec une colonnade régulière à la base qui prouve qu'elle était encore liquide et sans tension lorsqu'elle s'est immobilisée (Vallée de l'Ance, Haute-Loire) (cliché G. Kieffer).

2.4. Quelques modalités de formation des diaclases

2.4.1. Importance de la vitesse de refroidissement (gradient de retrait)

Une même lave peut se fissurer à des températures différentes, et donc à des viscosités variables, selon la vitesse de refroidissement qui détermine le *gradient de retrait* (diminution de volume en un temps donné). Les ruptures vont apparaître plus tôt, c'est-à-dire à plus forte température et à plus faible viscosité, lorsque le refroidissement, et donc le retrait, sont plus rapides. Les caractères des roches, texture, porosité et propriétés rhéologiques de la lave liées à sa composition (fusion franche ou fusion pâteuse) vont évidemment influencer sur leur disposition et leur densité. Mais, un plus fort gradient de retrait va également tendre à créer des fissures plus fines, plus denses et moins régulières.

2.4.2. Diaclases de premier et de deuxième ordres

Des ruptures rapides et initiales (à fort gradient de retrait) peuvent ouvrir les diaclases qui délimitent les prismes ou des volumes laviques quelconques (*diaclases de premier ordre*), alors que le retrait n'est pas terminé. La poursuite de ce retrait peut déterminer des fissurations plus fines (*diaclases de deuxième ordre*) à l'intérieur des prismes ou de tout autre volume lavique délimité par les premières diaclases. Les diaclases de deuxième ordre ne sont pas toujours visibles sur les roches fraîches. Elles constituent des réseaux polyédriques plus ou moins fins mis en évidence par l'altération, en particulier celle qui produit le *sonnenbrenner* (figure 9) et conduit à une désaggrégation de la roche, selon ces réseaux de petites fissures, en granules de quelques millimètres à quelques centimètres de diamètre (Kieffer, 1968).



Figure 9. Fissurations de deuxième ordre révélée par l'altération en «taches de soleil» (cliché G. Kieffer).

2.4.3. Quelques conséquences de l'ouverture des diaclases de premier ordre

Les diaclases de premier ordre peuvent aussi apparaître alors que la lave n'a pas encore acquis une très grande viscosité. Elles permettent une pénétration plus rapide du refroidissement le long des plans qu'elles délimitent en provoquant, sur des épaisseurs limitées (quelques centimètres en moyenne), une solification précoce pour former des « caissons » à l'intérieur desquels peut se poursuivre le retrait qui va donner les fissures de deuxième ordre. Ces bordures plus rapidement figées sont moins cristallisées et moins poreuses que la lave de l'intérieur des volumes laviques qu'elles délimitent. Le résultat en est parfois un comportement différentiel devant l'altération, en particulier la possibilité d'une désaggrégation plus facile de cette lave interne par rapport aux rebords, comme le montrent les prismes du puy de Brionnet (pays des Couzes) dont seul le cœur est altéré en *sonnenbrenner* (figure 10). Mais, si la lave de l'intérieur des prismes en formation est encore assez fluide, elle reste susceptible de se mouvoir au sein du « caisson » qui la contient. Ajoutés à la poursuite du retrait, ces ultimes déplacements sont sans doute capables de déformer les plans de fluidalité selon lesquels s'effectuera ensuite la segmentation en *articles* des prismes. Ceci permet d'expliquer les surfaces convexo-concaves qui délimitent parfois ces articles et qui apparaissent avec l'érosion des coulées, comme le montre l'exemple classique de la Chaussée des Géants en Irlande du Nord (figure 11).



Figure 10. Section de prisme montrant une bordure plus compacte et moins altérée que l'intérieur où se développe une désagrégation avec «taches de soleil» (cliché G. Kieffer).



Figure 11. Sections convexo-concaves (joints d'articles) de prismes (Chaussée des Géants, Irlande) (cliché G. Kieffer).

Il faut souligner la différence d'origine entre les diaclases qui délimitent les prismes et celles qui en délimitent les articles : les premières sont directement issues du retrait ; les secondes sont le résultat de l'altération qui exploite les plans de fluidalité de la lave.

2.4.4. Autres particularités liées à la formation des prismes

D'autres faits montrent les grandes variabilités des conditions de formation des prismes, en particulier au niveau de la viscosité. Ainsi, les fissures qui les délimitent peuvent s'ouvrir alors que la lave est déjà très visqueuse, au point que des enclaves noyées en son sein peuvent être sectionnées sans difficulté par les cassures, chaque moitié d'entre elles apparaissant ensuite sur les faces opposées de prismes voisins. Par contre, des déformations en genou de tous les prismes d'une même colonnade attestent d'un ultime mouvement de la coulée, et donc d'une viscosité autorisant encore des déformations, alors que les prismes étaient déjà délimités.

3. Les coulées à entablement de faux-prismes

Les coulées à entablement de faux-prismes correspondent à une architecture spectaculaire qui se reconnaît de loin dans le paysage. Elles présentent toujours la même disposition en trois unités : colonnade basale de prismes réguliers, entablement de faux-prismes et fausse colonnade (figure 12). Elles associent deux types de lave : basaltes gris-bleutés dans la colonnade et la fausse colonnade et basaltes noirs compacts dans l'entablement. Cette architecture

est un aspect essentiel des coulées des vallées de la Haute-Loire.

3.1. Généralités

Cette architecture caractérise essentiellement les laves basaltiques, coulées ou lac de lave. Mais, on la rencontre aussi parfois dans d'autres laves, téphrites (Italie), doréite (Monts Dore), ...

La puissance respective des trois unités de ces coulées est variable, mais, dans le plus grand nombre de cas, celle des faux-prismes est la plus importante. Dans des lacs de lave occupant d'anciens maars, l'épaisseur de l'entablement peut atteindre la centaine de mètres. Dans les coulées anciennes et déjà érodées, la fausse colonnade est souvent absente, car emportée par l'érosion.

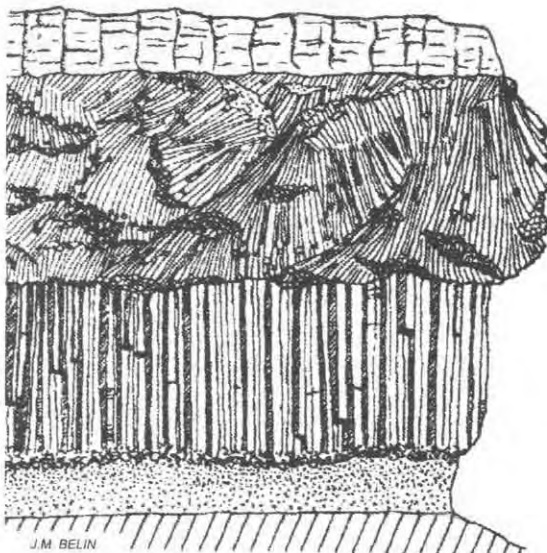


Figure 12. Coupe d'une coulée de lave à entablement de faux-prismes.

La colonnade, et parfois la fausse colonnade, peuvent être remplacées par des dalles, en fonction des conditions de mise en place et de refroidissement envisagées plus haut (retrait sous tension dans le plan de l'écoulement).

Dans bien des cas, en particulier dans plusieurs coulées de la Haute-Loire, le passage de la colonnade à l'entablement s'effectue sans transition par un contact net et rectiligne très régulier, bien mis en évidence par l'érosion différentielle à l'origine des abris sous-roche (Chilhac, Saint-Arcons, Arlempdes).

La présence constante, sans aucune exception, de deux types de lave, l'un plus cristallisé dans la colonnade et la fausse colonnade, l'autre plus vitreux dans l'entablement est le caractère remarquable de ces coulées. Le verre est toujours de couleur brun-mauve et détermine la teinte noire de la roche. Il a manifestement contribué à bloquer le dernier temps de cristallisation de la lave, en particulier la cristallisation des plagioclases. L'entablement de certaines coulées est même totalement dépourvu de ces feldspaths et l'on est alors en présence de véritables limburgites (Chilhac, puy de Mur en Limagne). Ce verre est responsable du débit en prismes mal formés. Mais, sa présence au cœur des épanchements est un paradoxe car on pourrait s'attendre à trouver les laves les plus cristallisées au milieu des coulées, c'est-à-dire au niveau de l'entablement de faux-prismes, puisque c'est là que le refroidissement, et donc le temps de cristallisation, ont dû être les plus longs. Cette situation pose un problème d'interprétation.

3.2. Origine du verre brun et mise en place des coulées

3.2.1. Enseignements des pillow lavas

Ce verre brun-mauve est particulier, comme le montre l'exemple de pillow lavas des Monts Iblei (Sicile), d'un diamètre de quelques dizaines de centimètres à environ un mètre (figure 13). Ceux-ci sont entourés d'un cortex vitreux, d'aspect obsidiennique, de deux ou trois centimètres d'épaisseur, passant à une zone interne où se trouve

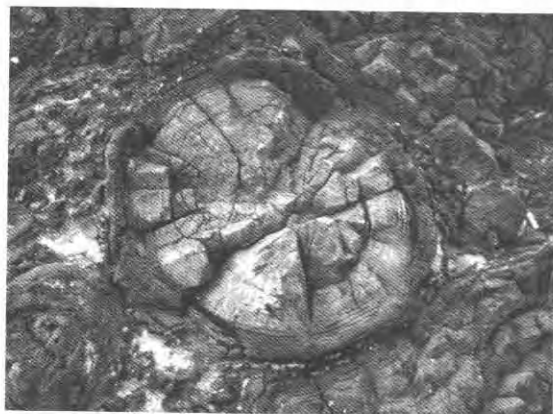


Figure 13. Pillow lava. Sicile (cliché G. Kieffer).

une division prismatique radiale à l'aspect de faux-prismes. Étudié en lame mince, le verre du cortex est apparu de teinte uniforme jaune très clair. Mais, à l'approche des faux prismes, sur un ou deux centimètres, on voit du verre brun-mauve apparaître, d'abord en mouches dispersées au sein du verre jaune, puis en quantité de plus en plus importante jusqu'à représenter la totalité du fond de la roche (figures 14, 15, 16, 17).

Il apparaît donc que l'on est en présence de deux verres différents. Le verre jaune du cortex est un verre normal de refroidissement quasi-instantané (trempe). Le verre brun s'est formé à ses dépens, ce qui suppose une évolution, certainement rapide, de la partie non cristallisée de la roche avant son refroidissement et sa solidification. Cette évolution peut être logiquement vue comme une oxydation du verre encore liquide sous l'influence de l'eau qui préside à la mise en place des pillow lavas.

3.2.2. Intervention oxydante de l'eau

Il est important de souligner que les coulées à entablement de faux prismes se situent généralement dans des vallées où elles fossilisent des alluvions. Elles ont donc occupé le lit d'anciens cours d'eau et recouvert les nappes phréatiques contenues dans les alluvions. La vaporisation de l'eau a dû être très importante et la vapeur a pu pénétrer sous pression dans la lave en fusion pour provoquer l'oxydation du verre et lui donner ses caractères, en particulier sa couleur brun-mauve. La texture vitreuse des entablements de faux-prismes a d'ailleurs déjà été mise en rapport avec une action de l'eau dans les épanchements des plateaux de la Colombia River (USA) (Degraff *et al.*, 1989). En raison de leur épaisseur et de leur volume, les coulées ont dû prendre des jours, voire des semaines ou des mois, pour refroidir et passer à l'état solide, ce qui leur a laissé un temps d'autant plus long pour que s'exercent ces actions oxydantes à l'origine de l'élaboration du verre brun-mauve.



Figure 14

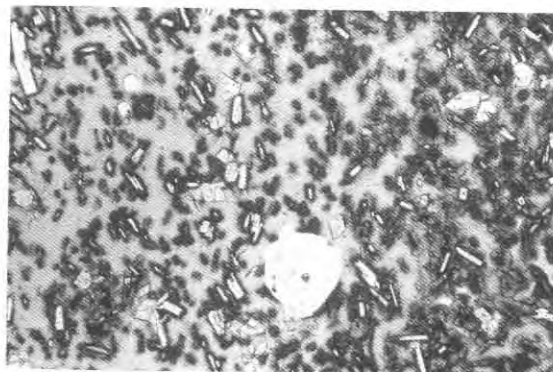


Figure 15

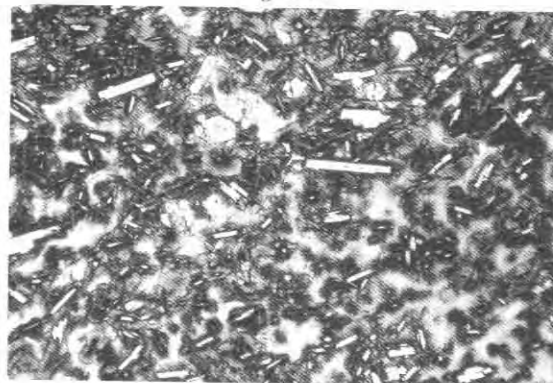


Figure 16

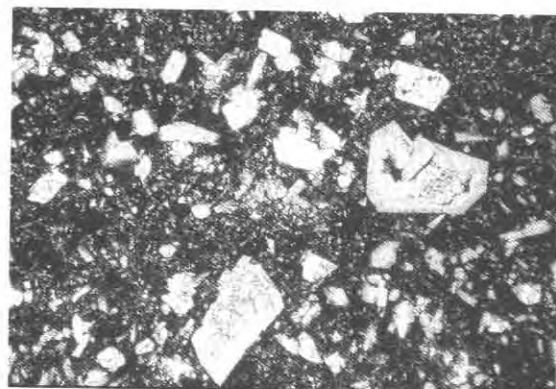


Figure 17

Figures 14, 15, 16, 17. Apparition progressive du verre brun-mauve aux dépens du verre jaune clair dans la bordure d'un pillow lava, transition sur trois centimètres (clichés G. Kieffer). 14 : cortex le plus externe, verre jaune clair, LN, x2. 15 : apparition du verre brun en mouches dans le verre jaune, LN, x2. 16 : augmentation du verre brun aux dépens du verre jaune, LN, x1,25. 17 : faciès interne du pillow, le verre brun a remplacé la totalité du verre jaune, LN, x2.

3.2.3. Modalités de mise en place des coulées à entablement de faux-prismes

Pour expliquer l'architecture des coulées et comprendre les modalités de leur mise en place, on peut s'inspirer de remarquables coupes de coulées récentes qui ont envahi les vallées de plusieurs affluents de l'Ardèche. Dans la vallée de la Volane, il est possible de voir la tranche complète d'une de ces coulées. On observe une gangue, continue de la base au sommet en passant par les bords, de prismes réguliers et de dalles, formés d'un basalte bleuté, autour d'une zone centrale de faux-prismes, formée d'un basalte noir compact et qui montre une belle section amygdaloïde (figure 18).



Figure 18. Section schématique complète de coulée à entablement de faux-prismes. Vallée de la Volane, Ardèche (cliché G. Kieffer).

Il semble évident que la gangue mieux prismée ou débitée en dalles de basalte bleuté s'est refroidie et figée plus rapidement, avant que les actions oxydantes à l'origine du verre brun-mauve aient eu le temps de s'exercer. À l'intérieur, la lave restée liquide a pu continuer à s'écouler et à évoluer pour que sa partie non cristallisée s'oxyde et se transforme en verre brun, lui-même ensuite incapable de cristalliser.

C'est la poursuite de cet écoulement interne, sur le niveau déjà arrêté de la colonnade, qui est vraisemblablement à l'origine du contact net et souvent rectiligne que l'on observe entre la colonnade et l'entablement de faux-prismes.

4. Evolution morphologique des coulées, formation et évolution des abris sous-basaltiques

C'est dans les coulées à entablement de faux-prismes, et plus précisément au niveau de la colonnade, que se situe la majorité des abris sous-roche qui, en Haute-Loire, ont servi d'habitats préhistoriques. Il s'agit de formes d'érosion liées à l'évolution morphologique spécifique de ces coulées.

4.1. Erosion et altération différentielle des coulées

4.1.1. Evolution morphologique d'ensembles des coulées

Après leur mise en place, les coulées sont livrées à l'érosion. Leur surface, d'abord chaotique (cheire), est peu à

peu régularisée. Elle voit d'abord disparaître ses pointements acérés et colmater ses creux, en même temps que se développent un sol et une végétation. Des aspects proches des topographies de départ se retrouvent par endroits sur les dernières coulées de la chaîne des Puys, par exemple dans la cheire de Côme. Les laves plus anciennes, vieilles d'au moins plusieurs centaines de milliers d'années, ne présentent en principe plus guère d'irrégularités importantes, à l'exception çà et là de restes scoriacés qui permettent d'identifier d'anciennes coulées "aa" dans certains secteurs du Devès. Les coulées mio-pliocènes, dans le Massif Central, sont toutes aplanies, sans trace des aspects superficiels d'origine.

La régularisation de la surface des coulées est allée de pair avec leur inversion morphologique qui est d'abord une conséquence du creusement des vallées après leur envahissement par les laves. Mais, dans le Massif Central, l'inversion résulte aussi d'un contexte morphologique régional favorable à l'enfoncement général des cours d'eau. Elle s'est toujours accompagnée du recul des rebords de coulées, de sorte qu'une nappe de lave inversée possède toujours une superficie plus réduite que son étendue première. L'importance de l'inversion dépend de l'ancienneté des épanchements, comme l'illustre la bordure occidentale de la Limagne où s'étage une série de coulées, des plus récentes de la chaîne des Puys, situées à quelques mètres au-dessus des talwegs actuels, aux coulées miocènes, comme celles du plateau de Gergovie perchées à 350 mètres au-dessus de la Limagne.

Le recoupement des rebords des nappes de lave a mis à jour leur architecture interne et permis aux processus d'altération de s'exercer pour créer les abris sous-roche des coulées de la Haute-Loire.

4.1.2. Altération et érosion des colonnades et fausses colonnades

Les colonnades et fausses colonnades sont déjà très sensibles à l'érosion mécanique en raison de la présence des diaclases toujours bien exprimées qui délimitent les prismes ou les dalles. Parmi les processus les plus efficaces, il faut citer le gel qui déloge les blocs un à un et les fait basculer pour former des tabliers d'éboulis en contrebas des escarpements laviques. Ce type de destruction des coulées, qui agit surtout en contexte périglaciaire, comme actuellement en Islande, a été très actif en Haute-Loire aux périodes froides du Quaternaire (figure 19).

Les roches par elles-mêmes (basaltes bleutés à texture microcristalline) se montrent également fragiles devant l'altération physico-chimique. Elles sont classiquement touchées par l'altération en (*sonnenbrenner*) spécifique des laves basiques alcalines sous-saturées (Kieffer, 1968). Cette altération révèle un réseau de microdiaclases (diaclases de deuxième ordre) à l'origine d'une fragmentation gravillonnaire de la roche qui la rend friable et facilement exportable (gélivation, ruissellement, glissements, ...). À ses premiers stades, cette altération contribue à faire apparaître les fissures qui séparent les articles des prismes en exploitant les plans de fluidalité de la lave. Elle s'accompagne généralement d'une décomposition en boules, avec desquamation, des volumes laviques, en particulier des articles (figure 20).

Cette sensibilité à l'altération et à l'érosion des basaltes bleutés à mésostase microcristalline est responsable d'un recul parfois rapide des colonnades. Elle explique aussi que les fausses colonnades, en général moins épaisses et



Figure 19. Effets mécaniques du gel sur une coulée normalement prismée (cliché G. Kieffer).

régulières que les colonnades, avec des laves souvent vacuolaires, ont été largement érodées sur les coulées anciennes.



Figure 20. Décomposition en boule d'un basalte bleuté, en liaison avec l'altération en «taches de soleil». Saint Didier d'Allier, Haute-Loire (cliché G. Kieffer).

4.2.3. Grande résistance à l'altération des entablements de faux-prismes

Les entablements de faux-prismes sont par contre particulièrement résistants à l'érosion. Les prismes présentent des réseaux de diaclases complexes qui les imbriquent entre eux et les rendent solidaires comme tenons et mortaises, de sorte qu'ils sont moins sensibles aux processus d'érosion mécanique.

Le basalte vitreux noir compact est lui-même très peu altérable en raison de son absence de porosité. Il se recouvre seulement d'une patine blanchâtre, à peine millimétrique et à évolution très lente.

Ces caractères sont à l'origine de l'habituelle mise en relief des entablements de faux-prismes sur les escarpements laviques.

4.3. Les abris sous-basaltiques, sites d'habitats préhistoriques

4.3.1. La formation des abris : résultat de l'érosion différentielle entre colonnade et entablement

Des facteurs mécaniques et climatiques contrôlent la formation des abris sous-basaltiques qui ont servi d'habitats préhistoriques en Haute-Loire. Dans tous les cas, cette formation repose sur les différences de résistance entre les colonnades basales et les entablements de faux-prismes.

La décompression générale des masses basaltiques portées en inversion de relief, obéissant aux lois de la mécanique des roches, intervient sous tout climat et conduit, d'une part, au cisaillement des fronts de coulées et d'autre part, à l'ouverture de discontinuités et à l'éboulement des parois sous la seule action de la pesanteur. C'est elle qui prédétermine les modes de fragmentation des masses rocheuses. Dans le cas d'une coulée de basalte à entablement de faux prismes plus résistant que la colonnade, le résultat de la décompression est une morphologie d'abri. Combinée avec l'affouillement fluvial de l'Allier, la décompression est le facteur principal invoqué pour expliquer la formation des «aiguilles» basaltiques le long de la falaise du Blot à Cersat (Marguerie, 1982) (figure 21).

L'excavation des colonnades basales est parfois aidée par la présence de cendres ou d'alluvions sous-jacentes, également faciles à exporter. Les entablements massifs de faux-prismes, qui se conservent beaucoup mieux, finissent souvent par former des surplombs au-dessus des vides laissés par le recul des colonnades. Ils évoluent eux-mêmes en s'abattant périodiquement par pans entiers très volumineux, lorsqu'ils ont perdu leur soutien. Le dégagement d'une colonnade peut toutefois entraîner une certaine érosion de la partie inférieure de l'entablement sus-jacent et, dans ce cas, l'abri aura l'aspect d'une concavité plus ou moins profonde entamant la base de la coulée (Beaume-Vallée). Mais, le dégagement peut aussi être beaucoup plus accusé et nettoyer le niveau de la colonnade jusqu'au contact avec l'entablement qui apparaît alors comme un plafond plat au sommet de l'abri (Chilhac, Saint-Arcons) (figure 22). La variété de la morphologie de la prismation d'une même colonnade a induit, dans certains abris, un



Figure 22. Abri sous-roche formé par le recul de la colonnade prismée régulièrement sous l'entablement de faux-prismes. Saint Arcons, Haute-Loire (cliché G. Kieffer).

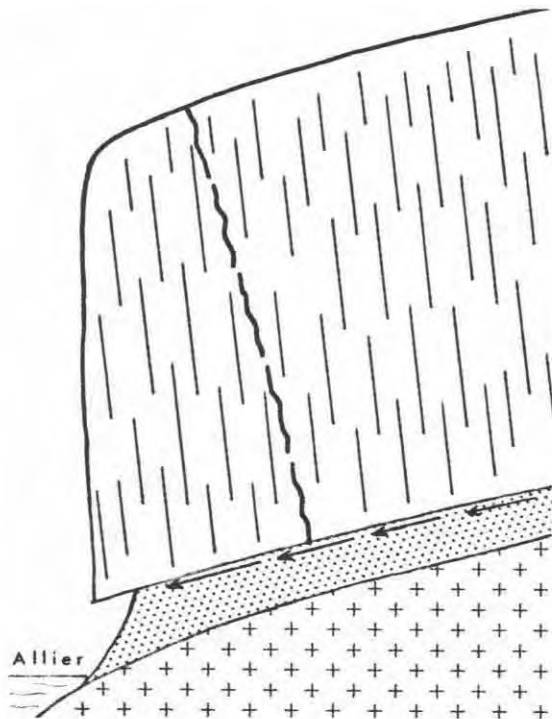
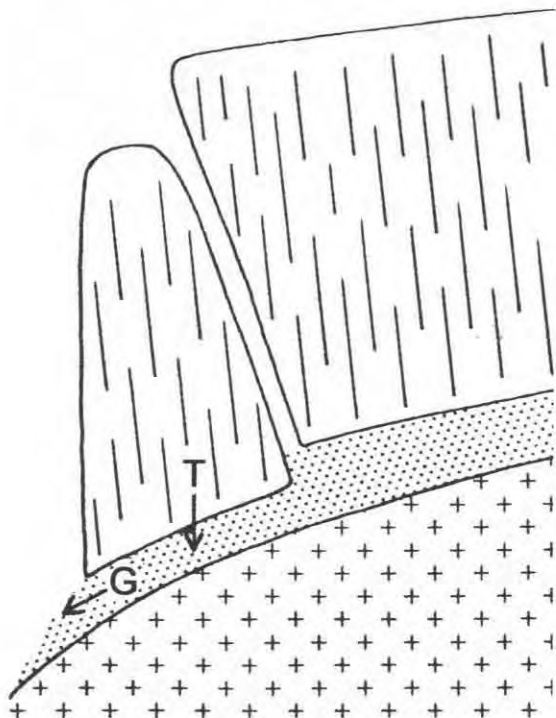


Figure 21. Formation des aiguilles de la falaise du Blot à Cerzat (d'après Marguerie, 1982). Cisaillement de la masse rocheuse et pré-découpage de la falaise selon un profil d'abri sous-roche et détachement de l'aiguille.
T : tassement. G : glissement.



recul différentiel de la paroi. Dans le cas du Blot de Cerzat par exemple (figure 23), ce recul différentiel a été interprété à tort en terme de chronologie de l'évolution de l'abri sous-roche (Delporte 1972 ; Marguerie, 1982).

Le froid a été un facteur important d'évolution des abris. Depuis plusieurs années, des expériences de gélification expérimentale (Kieffer et Lautridou, 1971, 1975 et expé-

riences inédites) ont permis de cerner le comportement au gel des roches basaltiques. Au cours du Pléistocène, pendant les périodes de dégradation climatique, le couple gel/dégel est sans aucun doute le facteur prépondérant de l'évolution des parois et de la sédimentation dans les abris sous-roche. L'orientation des abris occupés est particulière : la plupart des sites s'ouvrent au Sud-Est. En effet, l'ensoleillement matinal y permet une élévation rapide de la température. Quoique l'ombre y survienne plus tôt l'après-midi, le refroidissement est moins accusé car l'atmosphère ambiante est alors à son maximum thermique. Les calories absorbées lors de l'insolation par la falaise sont alors restituées pendant quelques heures, la paroi rocheuse jouant le rôle de « radiateur ». Ces abris sont donc le siège de cycles gel-dégel plus nombreux et donc susceptibles d'une évolution plus rapide de la morphologie des parois.

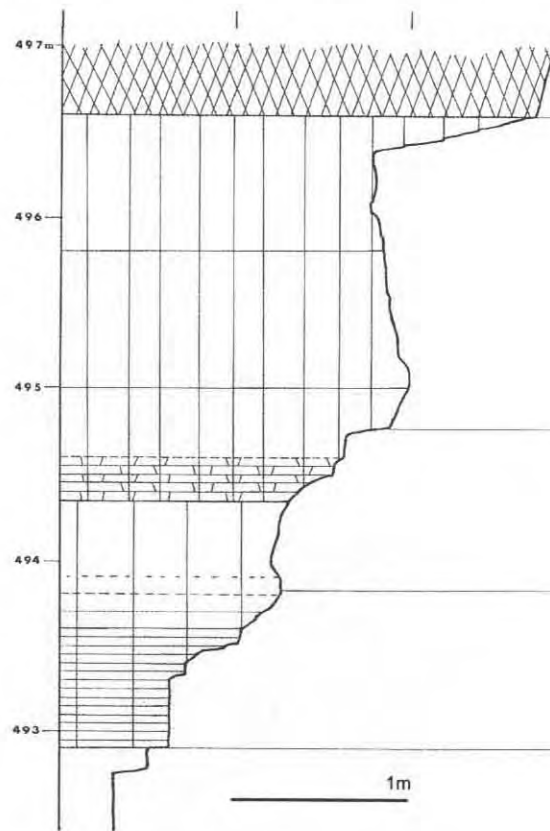


Figure 23. Abri du Blot à Cerzat. Profil complexe de la paroi en fonction de la variabilité de la prismation du basalte de la colonnade (d'après Marguerie, 1982).

4.3.2. Les remplissages des abris sous-basaltiques

Les différents types d'évolution des abris induisent différents modes de sédimentation. Les remplissages comportent par conséquent, en proportions variables, des éléments autochtones provenant des différentes parties de la falaise, mêlés à des éléments allochtones apportés par colluvionnement et ruissellement (et résultant du démantèlement des couvertures pédologiques paléoandosoliques des plateaux par exemple), dans certains cas par inondations temporaires, voire par voie éolienne. L'analyse de la répartition stratigraphique des différents éléments, de leurs proportions respectives et l'observation micromorphologique des différents niveaux, permettent d'approcher

les dynamiques de mise en place et ouvrent la voie aux reconstitutions paléoclimatiques.

Nous examinerons maintenant succinctement un exemple typique de remplissage sous le contrôle du froid, celui de l'abri de Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire, dont le basalte de la colonnade - affecté par une altération en «taches de soleil» - présente un débit en gravillons. L'abri s'ouvre sur la rive gauche de l'Ourzie, affluent de rive gauche de la Loire, 400 mètres en aval de la cascade de la Baume, à 870 mètres d'altitude (figure 24). La vallée de l'Ourzie (ou vallée de la Baume), coule vers le Nord-Est et entaille profondément l'entablement basalitique du Devès d'âge Pléistocène ancien (entre 1,5 et 0,7 M.A. environ). Ces coulées basaltiques reposent sur des alluvions anciennes grossières attribuées au Pléistocène basal

La partie inférieure du remplissage, datée du Pléistocène supérieur ancien (Raynal, 1988, 1989 ; Raynal et Huxtable, 1989 ; Raynal et Guadelli, 1990), est composée d'un matériel très caillouteux présentant une organisation litée bien développée (figure 25). La mise au point récente d'un modèle de stratogénèse des dépôts de pente d'altitude (Francou, 1988, 1989 ; Bertran *et al.*, 1993 ; Bertran 1994)

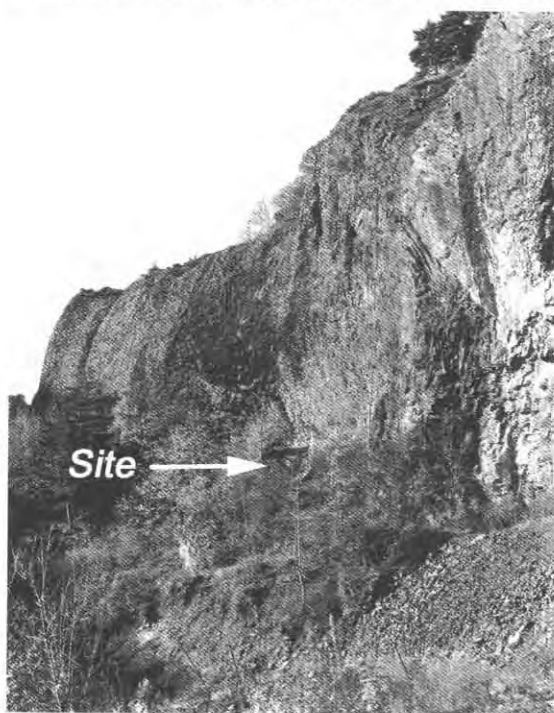


Figure 24. Abri de Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire. Vue générale de la falaise et de l'abri principal en 1970 (cliché A. Laborde).

et la mise en œuvre du programme expérimental en altitude TRANSIT (Texier *et al.*, 1998), fournissent un nouveau canevas pour l'interprétation de tels dépôts et modifient radicalement l'interprétation paléoclimatique lit par lit classiquement appliquée, encore récemment, aux sites préhistoriques en pied de falaise et abris-sous-roche, y compris dans le domaine basalitique qui nous intéresse ici (Moser, 1971, 1973, 1974, 1977).

Les dépôts de l'abri de Baume-Vallée (Bertran et Raynal, 1990) se présentent comme la superposition de lits de 0,05 à 0,30 m de puissance, soit constitués d'éléments angu-

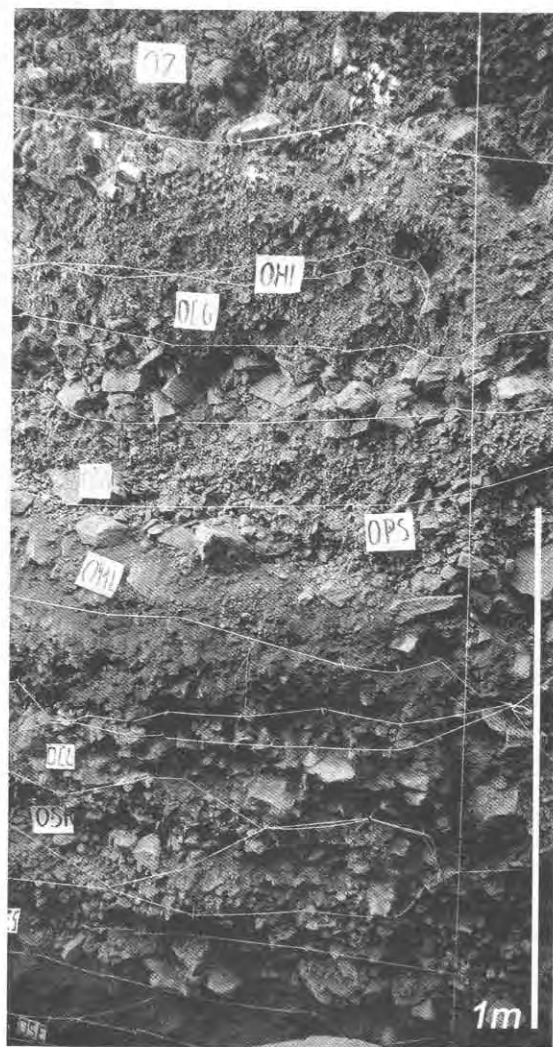


Figure 25. Abri de Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire. Détail des niveaux inférieurs lités en 1970 (cliché A. Laborde).

leux de la taille des cailloux et «open-work» (lits maigres), soit constitués de granules subarrondis associés à quelques cailloux et colmatés par une matrice fine plus ou moins abondante (lit gras). Chacun de ces deux types alterne de façon régulière. Les lits open-work présentent fréquemment des granoclassements verticaux qui accentuent l'impression de litage, positifs, négatifs ou à double polarité, les éléments les plus grossiers étant situés dans ce dernier cas au centre du lit. Les lits gras ont une limite supérieure nette à brutale, soulignée par une zone à texture très limoneuse ; leur limite inférieure est plus progressive. En coupe sagittale, on observe des ondulations du lit gras, absentes ou rares et limitées à la surface du lit en coupe frontale. L'extension frontale des lits varie de 4 à 10 m ; leur pente maximale est d'environ 15%. La fabrique (orientation et pendage) des cailloux est faiblement anisotrope (Bertran et Texier 1995) ; on observe une organisation «tuilée» peu marquée en raison de la forme majoritairement polyédrique des éléments. Le pendage des blocs aplatis est généralement conforme à la pente ou plus faible (blocs relevants). Des perturbations de la régularité du litage sont visibles localement. Il s'agit soit d'amas de gros blocs issus de la partie inférieure de la coulée basaltique (colonnade), soit de niveaux exclusivement formés de matrice fine à structure prismatique très prononcée. Ces derniers reposent par un contact brutal sur les dépôts sous-

jacents. En lame mince, on note des structures vésiculaires témoins d'un comportement semi-liquide sous l'effet d'une forte teneur en eau aux dégels ainsi que des figures indiquant une intense redistribution des particules fines sous l'effet des percolations dues à la fonte des neiges (Bertran, 1994).

On donc peut actuellement interpréter le remplissage inférieur de l'abri de Baume-Vallée de la façon suivante de bas en haut :

1 - dégradation de la paroi basaltique par le gel et production de gélifractions. Les observations en cours de fouille ont montré que le gel avait détaché des prismes entiers pré-altérés de la partie inférieure de la paroi (« colonnade »), qui ont ensuite été très rapidement désagrégés et totalement réduits à l'état de granules, la granulométrie fine du dépôt étant ainsi acquise quasi-immédiatement, en quelques hivers.

2 - enrichissement en fines par des apports de ruissellement sur la paroi ou à travers la porosité fissurale de la coulée basaltique (matériaux issus du substratum cristallin et de l'altération des projections sous coulée : quartz, micas, argiles).

3 - lavage des fines dans l'éboulis et concentration à la base. À partir d'un certain seuil, la texture du niveau enrichi en matrice permet la ségrégation de glace en lentilles et le démarrage d'une dynamique de cryoreptation.

4 - formation d'une coulée de solifluxion à front pierreux et différenciation des lits (cryoexpulsion, lavage, enfouissement au niveau du front...).

5 - en pied de paroi, la poursuite de l'accumulation cryoclastique peut permettre la formation d'une nouvelle coulée, fonctionnant simultanément avec la précédente, mais en retrait et la fossilisant progressivement.

La mise en évidence de ce schéma de mise en place des dépôts lités de Baume-Vallée (figure 26) a plusieurs implications archéologiques majeures :

- en premier lieu, il semble hautement probable que tout le matériel archéologique ait été plus ou moins déplacé, l'ampleur de ce(s) déplacement(s) étant fonction de la durée de résidence de la couche soumise au fluage, c'est à dire de la vitesse d'enfouissement sous une nouvelle coulée de solifluxion. Ce dernier processus est lui-même contrôlé en partie par la vitesse de gélification de la paroi,
- les observations des déplacements actuels en surface de coulées de solifluxion montrent que les objets subissent une translation vers l'aval, faible sur les bords de la coulée et de plus en plus prononcée vers le centre. Un tel phénomène conduit inévitablement à une déformation des surfaces d'occupation préhistoriques,
- si tous ces paramètres restent difficilement appréciables, le dépouillement des données de la fouille semble cependant fournir des indications montrant un déplacement au moins localement limité, la signification réelle des assemblages lithiques recueillis est donc sujette à interrogations,
- enfin, les transformations des dépôts identifiées en lame mince sont le brassage par le gel, la minéralisation de la

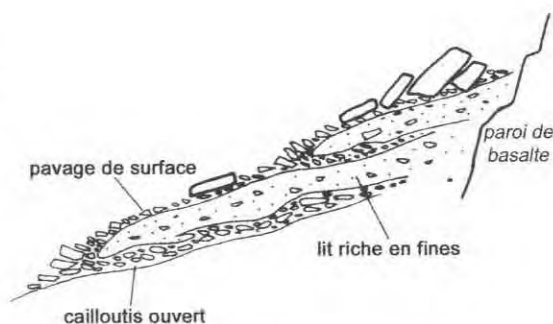


Figure 26. Abri de Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire. Hypothèse de stratigénèse des niveaux lités inférieurs (d'après Bertran et Texier, 1995).

matière organique, la dissolution quasi-totale des cendres associée à la fragmentation et à la dispersion des charbons de bois ; ces perturbations, relativement limitées dans l'unité archéologique inférieure, sont de plus en plus importantes lorsqu'on monte dans les dépôts. Dans les coulées de solifluxion du sommet de la séquence moustérienne, les objets sont nettement réalignés (figure 27).

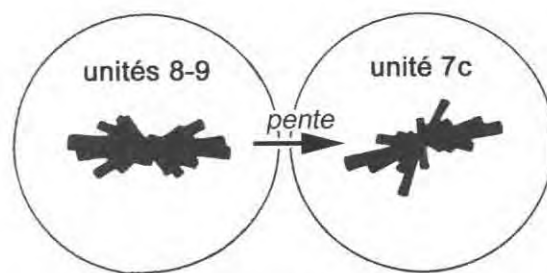


Figure 27. Abri de Baume-Vallée à Solignac-sur-Loire. Orientation préférentielle des objets lithiques dans le sens de la pente dans la partie supérieure de la séquence moustérienne (d'après Bertran et Texier, 1995).

Les remplissages du Pléistocène supérieur ancien des abris sous-basaltiques du Velay présentent des caractères différents selon les types de lave et leurs altérations. Le remplissage de Baume-Vallée est certainement un modèle pour les coulées dont la colonnade est altérée en « taches de soleil », mais celui de l'abri des Battants à Blassac par exemple (Carré, 1983), d'âge sans doute comparable, est très différent... Les dépôts du Pléistocène supérieur récent pour leur part, souvent formés principalement par les produits de désagrégation de la fausse colonnade, présentent encore d'autres lithofaciès. La caractérisation des mécanismes de production des éléments grossiers du remplissage, directement fonction des caractéristiques de la coulée excavée en abri d'une part et la reconstitution précise des mécanismes de sédimentation d'autre part, apparaissent donc aujourd'hui comme le préalable à la discrimination entre structures d'origine anthropique et pseudo-structures liées au mode de dépôt et à l'appréciation de la valeur des assemblages lithiques paléolithiques récoltés au cours de la fouille des remplissages pléistocènes des abris sous-basaltiques du Velay.

Conclusion

La division des laves, par les effets du retrait qui intervient au moment du refroidissement, est un phénomène aussi habituel que complexe. La prismation régulière ne concerne en fait que quelques faciès lithologiques parmi

les divers types de roches produits par l'activité éruptive. Elle demande des conditions assez précises aussi bien de la part de ces faciès que de la part des conditions de mise en place et de refroidissement. Nos considérations font apparaître que dans chaque groupe pétrographiquement défini de lave, il existe en fait plusieurs types lithologiques qui n'ont pas la même sensibilité à l'altération et à l'érosion. Sur ce dernier point, c'est par exemple une erreur de parler du "basalte", comme s'il s'agissait d'une roche unique, alors que les divers faciès présentés montrent que le terme recouvre plusieurs types lithologiques aux possibilités d'évolution morphologique très contrastées, voire antagonistes.

Les coulées basaltiques de la Haute-Loire, qui abritent les abris sous-roche utilisés comme habitats préhistoriques, illustrent remarquablement ces diverses possibilités de faciès. C'est grâce à la présence dans les vallées des coulées à entablement de faux-prismes, à leur façonnement par l'érosion et à l'action de processus spécifiques d'altération, en particulier l'altération en «taches de soleil» des colonnades basales au-dessous des niveaux à faux-prismes beaucoup plus résistants, qu'ont pu se former les abris sous-roche qui ont attiré les populations préhistoriques et préservé les vestiges de leur présence qui, sans ce type précis de coulées, auraient certainement été beaucoup plus rares en Haute-Loire.

Références

- BERTRAN P., 1994 – Dégradation des niveaux d'occupation paléolithiques en contexte périglaciaire : exemples et implications archéologiques. *Paléo*, n°6, 285-302.
- BERTRAN P. et RAYNAL J.P., 1990 – Stratigraphie et sédimentation. in *Abri Laborde, Baume-Vallée, Ajizoux, Solignac-sur-Loire, Haute-Loire. Rapport de synthèse 1988-89-90*, sous la direction de J.P. Raynal, diffusion restreinte, 30-41.
- BERTRAN P. et TEXIER J.-P., 1995 – Fabric Analysis : Application to Paleolithic Sites. *Journal of Archaeological Sciences*, 22, 521-535.
- BERTRAN P., FRANCOU B., PECH P., 1993 – Stratogénèse associée à la dynamique des coulées à front pierreux en milieu alpin. La Mortice, Alpes méridionales, France. *Géographie Physique et Quaternaire*, 47, 1, 93-100.
- CARRE F. (1983) - Le site de Blassac, les Battants (Haute-Loire). Fouilles 1971-1978. Eléments d'une stratigraphie. Congrès Préhistorique de France, 21^e session, Montauban-Cahors, 1979, volume II, p. 57-75.
- CARRON J.-P., BROUSSE R., SABATIER G., 1965 – Fusion pâteuse et fusion franche de quelques roches volcaniques. *C.R.A.Sc.*, 260, 5593-5596.
- DEFIVE E., 1996 – L'encaissement du réseau hydrographique dans le bassin supérieur de la Loire. *Thèse Univ.*, Paris I, 551 p.
- DEFIVE E., CANTAGREL J.-M., 1998 – Chronologie de l'encaissement du réseau hydrographique en domaine volcanisé : l'exemple de la haute vallée de la Loire. 12-17. *Symp. INQUA COT/UISPP 31*, Brives-Charensac, 12-17.
- DEGRAFF J.M., LONG P.E., AYDIN A., 1989 – Use of joint-growth directions and rock textures to infer thermal regimes during solidification of basaltic flows. *Journ. Volcanol. Geotherm. Res.*, 38, 309-324.
- FRANCOU B., 1988 – Eboulis stratifiés dans les Hautes Andes Centrales du Pérou. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 32, 1, 47-76.
- FRANCOU B., 1989 – La stratogénèse dans les formations de pente soumises à l'action du gel. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 4, 185-189.
- KIEFFER G., 1968 – Contribution à l'étude de l'altération des laves à caractères basaltiques. *Rev. Auv.*, 82, 1, 27-49.
- KIEFFER G., 1969 – Caractères des coulées de lave à entablement de faux-prismes. *C.R.A.Sc.*, 269, 2178-2181.
- KIEFFER G., 1971 – Aperçu sur la morphologie des régions volcaniques du Massif Central. *Symp. J. Jung*, éd. Plein Air Serv., 479-510.
- KIEFFER G., 1977 – Diaclasation et prismation dans les laves. *5ème RAST*, Rennes, 288.
- KIEFFER G., 1979a – Pahoehe et aa : problèmes de morphologie superficielle des coulées volcaniques fraîches. *Publ. Inst. Géogr. Univ. Clermont-Fd.*, 57, 27-40.
- KIEFFER G., 1979b – Sur la nature et la signification des "laves en pavés". *7ème RAST*, Lyon, 26^e.
- KIEFFER G., 1994 – Coulées et dômes : aspects morphologiques et structuraux. *Le Volcanisme. Manuels et Méthodes* 25, éd. BRGM, 101-113.
- KIEFFER G., 2001 – Déformations et lithoclastes acquises par les terrains volcaniques au cours de leur mise en place. *Rev. Sc. Nat. Auv.*, sous presse).
- KIEFFER G., RAYNAL J.-P., 1998 – De l'éruption à l'habitat préhistorique en Haute-Loire. *Symp. INQUA COT/UISPP 31*, Brives-Charensac, 115-117.
- MACDONALD G. A., 1953 – Pahoehe, aa and block lava. *Amer. Journ. Sc.*, 251, 169-191.
- MARGUERIE D., 1982 – Etude géologique du gisement préhistorique du Blot (Cezat, Haute-Loire). *Eléments de lithostratigraphie et paléologie*. Mémoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris, 261 p.
- MOSER F., 1971 – Contribution à l'étude des abris sous-basaltiques de la Haute-Loire. Le gisement de baume-Vallée, 43, Solignac-sur-Loire. Diplôme d'Etudes Supérieures, Université de Clermont-Ferrand, 40 p.
- MOSER F., 1973 – Contribution à l'étude des abris sous-basaltiques de la Haute-Loire, gisement du Blot de Cezat. *Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 3.
- MOSER F., 1974 – Application des méthodes sédimentologiques à la recherche archéologique. *Congrès préhistorique de France*, XX^e session, Provence, 378-384.

MOSER F., 1977 - *La sédimentologie de remplissages d'abris sous basaltiques en Haute-Loire et ses implications climatiques au Würm récent et au Post-Würm*. Mémoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, III^e section, 154 p.

RAYNAL J.P., 1988 - Paléoenvironnements et chronostratigraphie du Paléolithique moyen dans le Massif Central français. Implications culturelles. in *L'Homme de Néandertal*, vol. 2, *L'environnement*, ERAUL Ed. Liège, p. 113-145.

RAYNAL J.P., 1989 - Le Paléolithique moyen d'Auvergne et Velay. in : *Le Temps de la Préhistoire*, Société préhistorique française, Archéologia Ed., tome 1, p. 252-253.

RAYNAL J.P. et HUXTABLE J., 1989 - Premières datations par thermoluminescence du Moustérien charentien du Velay (Massif Central, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, t. 309, série II, p. 157-162.

RAYNAL J.P. et GUADELLI J.L., 1990 - Milieux physiques et biologiques. Quels changements entre 60 et 30 Ka à l'Ouest de l'Europe ? in *Paléolithique moyen récent et Paléolithique supérieur ancien en Europe. Ruptures et transitions : examen critique des documents archéologiques*. Actes du colloque de Nemours, 9-11 mai 1988, Mémoires du Musée de Préhistoire d'Ile-de-France, 3, p. 53-61.

TEXIER J.P., BERTRAN P., COUTARD J., FRANCOU B., GABERT, GUADELLI J.L., OZOUF J.C., PLISSON H., RAYNAL J.P., VIVENT D., 1998 - TRANSIT, An Experimental Archaeological Program in Periglacial Environment: Problem, Methodology, First Results. *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 13, N° 5, 433-473.

TOLAN T.L., REIDEL S.P., BEESON M.H., ANDERSON J.L., FECHT K.R., SWANSON D.A., 1989 - Revision to the estimates of the areal extent and volume of the Colombia River Basalt Group. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 239, 1-20.