

**Zeitschrift:** Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =  
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

**Band:** 71 (1991)

**Heft:** 2

**Artikel:** Pillow lavas : comparaisons entre le paléovolcanisme et les coulées  
des dorsales océaniques

**Autor:** Kunz, Pierre

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-54364>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## **Pillow lavas: Comparaisons entre le paléovolcanisme et les coulées des dorsales océaniques\***

par *Pierre Kunz*<sup>1</sup>

### **Abstract**

The structure, the construction and the emplacement of paleovolcanic submarine units are presented through comparisons with recent flows, observed and sampled on active oceanic ridges. The chosen sites are situated: in mesozoic ophiolitic complexes showing well-preserved volcanic morphologies (French and Swiss Alps), in quaternary shallow-water flows (Sicily, Italy) and on the East Pacific Rise at 13° N.

Various factors governing the effusion of submarine flows are discussed: depth of water, underlying topography, rate of effusion, viscosity of lava, piles construction, formation of breccias, gravity transports, presence of hyaloclastites.

The sampled rocks are olivine + plagioclase ( $\pm$  Cpx) basalts; these are all MORB-type tholeiites, but etnean lavas tend to within-plate transitional basalts. Looking at the interior of the lava tubes, petrographic data on spherulitic/variolitic rim-textures, allow to follow the crystallization and growth of variolites from abyssal recent flows to ancient weathered volcanic units, where they are especially well developed.

*Keywords:* Submarine volcanism, paleovolcanism, pillow lavas, ophiolites, East Pacific Rise.

### **Introduction**

Le choix des quatre sites comparatifs présentés ici, a été dicté par la qualité de conservation de leurs laves sous-marines, et l'absence de déformations majeures. Deux sites ophiolitiques mésozoïques ont été retenus dans l'arc alpin: le massif du Montgenèvre (France/Italie) et la Zone des Ecailles d'Arosa (Suisse); puis le site d'Aci Castello (Sicile), correspondant aux premières manifestations volcaniques quaternaires de l'Etna, épanchées sous une faible tranche d'eau. Finalement, un segment de la ride Est Pacifique à 13° N, au large du Mexique, fournit le fil conducteur à ces comparaisons en permettant d'étudier dans l'actuel, en milieu océanique, la mise en place des coulées.

Les lithologies sous-marines sont composées pour l'essentiel de laves massives fluides, de pillow lavas tubulaires à section soit aplatie soit cylindrique, de pillow lavas en boules détachées, de pillows éclatés/bréchifiés et de brèches. Une

organisation entre ces diverses lithologies s'observe particulièrement bien en milieu océanique actuel, sous forme d'empilements volcano-effusifs construits. L'architecture de ces édifices présente des laves massives à la base, des pillows aplatis vers le sommet, des pillows cylindriques et détachés sur les flancs, et enfin des pillows bréchifiés et des brèches au pied de ces constructions. Ce type d'édifice se trouve sur les rides océaniques le long du rift et sur ses versants (nomenclature des lithologies effusives de BALLARD et MOORE, 1977).

### **Ride Est Pacifique**

Les échantillons étudiés proviennent des missions Cyatherm (1982) et Géocyarise (1984), effectuées sur un segment de la dorsale Est Pacifique à environ 13° N, la vitesse d'accrétion à cet endroit est très rapide: 11–12 cm/an.

\* Résumé élargi de la contribution présentée à l'assemblée annuelle de la SSMP, Genève, 4 et 5 octobre 1990.

<sup>1</sup>Département de Minéralogie, Université de Genève, 13, rue des Maraichers, CH-1211 Genève 4.

L'axe principal de la ride, large d'environ 2 km avec une profondeur moyenne de 2650 m, se présente comme un dôme plat asymétrique, dépassant de plusieurs centaines de mètres les fonds océaniques. Son centre est entaillé par une dépression de 500 m de large sur 50 m de profond: le graben central (CHOUKROUNE et al., 1984; GENTE et al., 1986). A l'intérieur de ce graben, le régime tectonique est essentiellement fissural, dominé par un système de failles normales en escalier. Malgré son étroitesse, ce graben central correspond à la zone d'accrétion actuelle avec les activités tectoniques et volcaniques les plus récentes, associées à des constructions hydrothermales. On y retrouve les laves les plus fraîches et la couverture sédimentaire la plus fine.

Trois catégories lithologiques principales ont été reconnues (HEKINIAN et FOUQUET, 1985):

- Coulées lobées et drapées hectométriques, les plus abondantes, situées dans le graben central.

- Coulées fluides massives, épaisses de moins d'un mètre, éparpillées et isolées dans le graben central.

- Coulées de pillow lavas, abondantes sur les murs et les talus limitant le graben central.

Les coulées massives et lobées sont latéralement en contact et surmontées par des pillows. Il est probable que les coulées massives représentent des événements volcaniques précoces, caractérisés par de fortes productions de lave; alors que les pillows qui en dérivent, apparaissent plus tardivement lorsque l'activité volcanique diminue. Les transitions lithologiques, souvent difficiles à délimiter précisément, seraient la conséquence de facteurs effusifs intervenant lors de la mise en place des coulées: fluidité/viscosité, température d'effusion, vitesse de refroidissement et taux d'épanchement (GENTE et al., 1986).

### Etna

Parmi les premières manifestations éruptives dans la région de l'Etna, sur la côte orientale de la Sicile, figurent les formations basaltiques sous-marines pléistocènes de la Zone d'Aci Castello (CRISTOFOLINI, 1972). Celles-ci se sont mises en place au fond d'un golfe marin dit «pré-etnéen», au sein d'argiles marines siciliennes. Les formations éruptives affleurent sur une aire de 3 à 4 km<sup>2</sup> à 7 km au nord de Catane, non oblitérées par des laves plus récentes, et alignées sur un système fissural régional (STURIALE, 1968). L'évaluation exacte de la profondeur de mise en place de ces coulées sous-marines dans le golfe pré-etnéen est délicate. Il est supposé (KIEFFER, 1985) que les

laves de la Formation d'Aci Castello ont dû s'épancher sous une tranche d'eau profonde de 300 m au maximum. Les âges absolus de ces formations sont encore sujets à controverses, donnant suivant des corrélations stratigraphiques: 230000 ans (KIEFFER, 1985) ou des datations radiométriques: 500000 ans (ROMANO et GILLIOT, 1987). Au cours du Quaternaire récent, les mouvements tectoniques ont considérablement soulevé le soubassement de l'Etna. L'évaluation du taux de surrection moyen oscille entre 1,5 et 5 m/1000 ans à Aci Castello (KIEFFER, 1985). Parallèlement à la surrection, des mouvements de basculement récents et une tectonique cassante ont affecté certains ensembles lithologiques, comme en particulier l'éperon rocheux d'Aci Castello.

Une organisation volcanique générale est encore décelable au sein de l'éperon d'Aci Castello, où des événements explosifs semblent avoir joué un rôle important.

### Montgenèvre

Le massif ophiolitique du Montgenèvre, situé à l'est de Briançon, se trouve sur la bordure occidentale du domaine liguro-piémontais. Ce massif constitue un complexe ophiolitique typique, bien que partiellement démembré. Les limites nord et sud du massif sont soulignées par des failles E-W profondes, le long desquelles le compartiment ophiolitique serait descendu. Ce mouvement aurait permis à ce complexe de ne subir un métamorphisme alpin que de faible intensité (DIETRICH et al., 1974). Mais les faciès métamorphiques présents seraient pour partie hérités d'une phase primaire encore océanique (MEVEL, 1975), puis repris au cours de l'orogénèse alpine.

Couvrant une surface de 30 km<sup>2</sup>, ce massif expose une séquence ophiolitique relativement complète de plus de 500 m d'épaisseur, avec ses couvertures sédimentaires pélagiques supra-ophiolitiques (BERTRAND et al., 1984). Vu la présence considérable de failles, réajustements tectoniques et glissements superficiels quaternaires, la structure générale du massif est difficilement observable: juxtaposition d'écaillles tectoniques, basculées et verticalisées par endroit.

La masse principale du massif du Montgenèvre est caractérisée par d'épaisses séries de coulées à pillow lavas, divisées en trois unités majeures (BERTRAND et al., 1984): unité du Chenaillet, du Rocher de l'Aigle et du Mont de la Plane. Ces unités présentent de très belles morphologies de pillow lavas, où une organisation structurale volcano-effusive peut être observée sur des affleurements préservés par la tectonique.

### Arosa

La Zone des Ecailles d'Arosa se situe dans le domaine pennique supérieur ou piémontais, au centre des Grisons (TRÜMPY, 1980). Elle est prise en «sandwich» entre les unités penniques moyennes et austroalpines, et couvre une surface d'environ 35 km<sup>2</sup>. Cette zone forme une unité ophiolitique très tectonisée et replissée, constituée d'écailles décamétriques de roches vertes emballées dans une matrice de schistes argilo-calcaires mésozoïques (GRUNAU, 1947). Elle représente un ensemble chaotique classifié comme zone de mélange typique de complexes subductés: «prismes d'accrétion» (RING et al., 1990). Les ensembles ophiolitiques, fortement démembrés, affleurent sous forme de blocs, écailles ou olistolites, où domine une tectonique cassante. La séquence ophiolitique n'est que partiellement représentée à Arosa: à côté des serpentinites, des volcanites et de la couverture sédimentaire supra-ophiolitique, il manque les gabbros et le complexe filonien. La Zone d'Arosa a subi un métamorphisme régional alpin atteignant le faciès schistes verts. Les roches ophiolitiques montrent encore des textures primaires non déformées, malgré de nombreuses cassures (DIETRICH et al., 1974). Les olistolites de volcanites basiques permettent de reconnaître de magnifiques structures de pillow lavas en tubes allongés, avec leurs bordures variolitiques conservées.

### Caractéristiques de chaque site

Les figures illustrant chaque site (sauf l'EPR), correspondent à un affleurement type. Pour l'Etna, c'est l'éperon rocheux basculé d'Aci Castello avec son Château Normand, entouré d'une plateforme d'abrasion marine. Cet éperon permet d'observer un paléo-horizon correspondant au contact entre un ensemble effusif à (méga)pillows et un niveau de hyaloclastites ± fines. Pour le Montgenèvre, un affleurement décamétrique situé près du Lac de la Chaussée (unité du Rocher de l'Aigle), permet de retrouver sur un empilement construit de pillows, un niveau de brèches et de hyaloclastites reposant en contact érosif primaire. Enfin à Arosa, la pointe très individualisée du Hörnli, montre des morphologies effusives où des passages continus pillows → brèches sont encore visibles.

### EPR

- Contexte de ride océanique (non-ophiolitique).
- Age quaternaire récent (< 300 000 ans).

- Altération: début de palagonitisation des bordures vitreuses des pillows, altération hydrothermale (faciès zéolite à début schistes verts).

- Tectonique: découpages en horsts et grabens, localement subsidence et uplift. Importants mouvements gravitaires (glissements).

- Profondeur d'eau: 2600–2700 m. Reliefs très variables: zones planes, talus et constructions à pente moyenne à forte (30–40°).

- Volcanicité: surtout effusive, fort taux d'effusion.

- Morphologies volcaniques: coulées massives, lobées et drapées, lacs de lave, empilements construits de pillows, brèches de talus.

- Brèches: toutes tailles, anguleuses et arrondies, parfois triées; associées aux coulées et sur les talus.

- Hyaloclastites: associées aux pillows, parfois dépôts remaniés.

### ETNA (Fig. 1)

- Contexte intraplaque (non-ophiolitique).

- Age quaternaire ancien, sicilien: 230 000 à 500 000 ans (?).

- Altération/métamorphisme: palagonitisation et développement de zéolites.

- Tectonique: fracturation, rotation et basculement d'un large bloc volcano-effusif.

- Profondeur d'eau primitive: très faible (< 300 m). Reliefs correspondant à des cônes volcaniques construits à pente marquée (20–30°).

- Volcanicité: alternance de phases effusives et explosives stromboliennes, avec un taux d'effusion moyen à élevé.

- Morphologies volcaniques: «mégapillows» approvisionneurs de lave, pillows de toute taille plutôt arrondis, brèches.

- Brèches: la majorité des tubes de lave et pillows arrondis sont bréchifiés. Transitions verticales et latérales depuis des pillows vers des brèches.

- Hyaloclastites: parfois associées aux pillows, mais généralement remaniées et stratifiées.

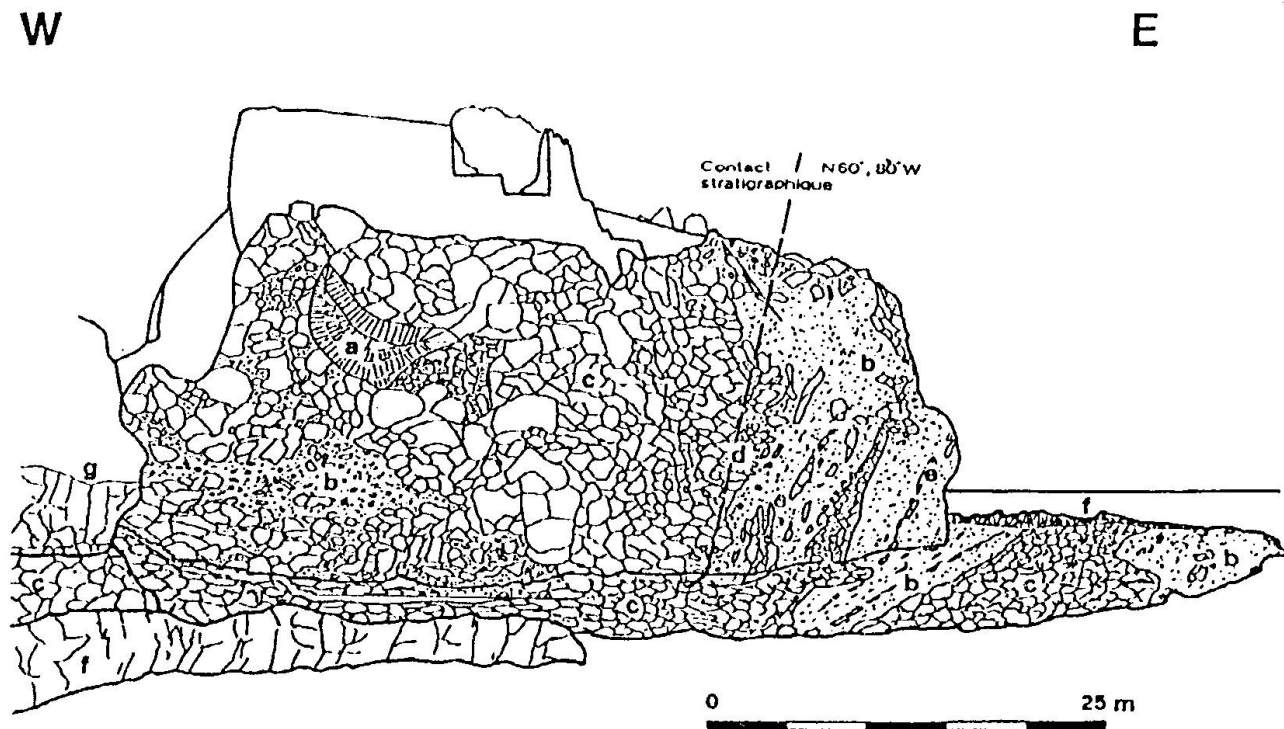
### MONTGENÈVRE (Fig. 2)

- Contexte alpin, ophiolitique.

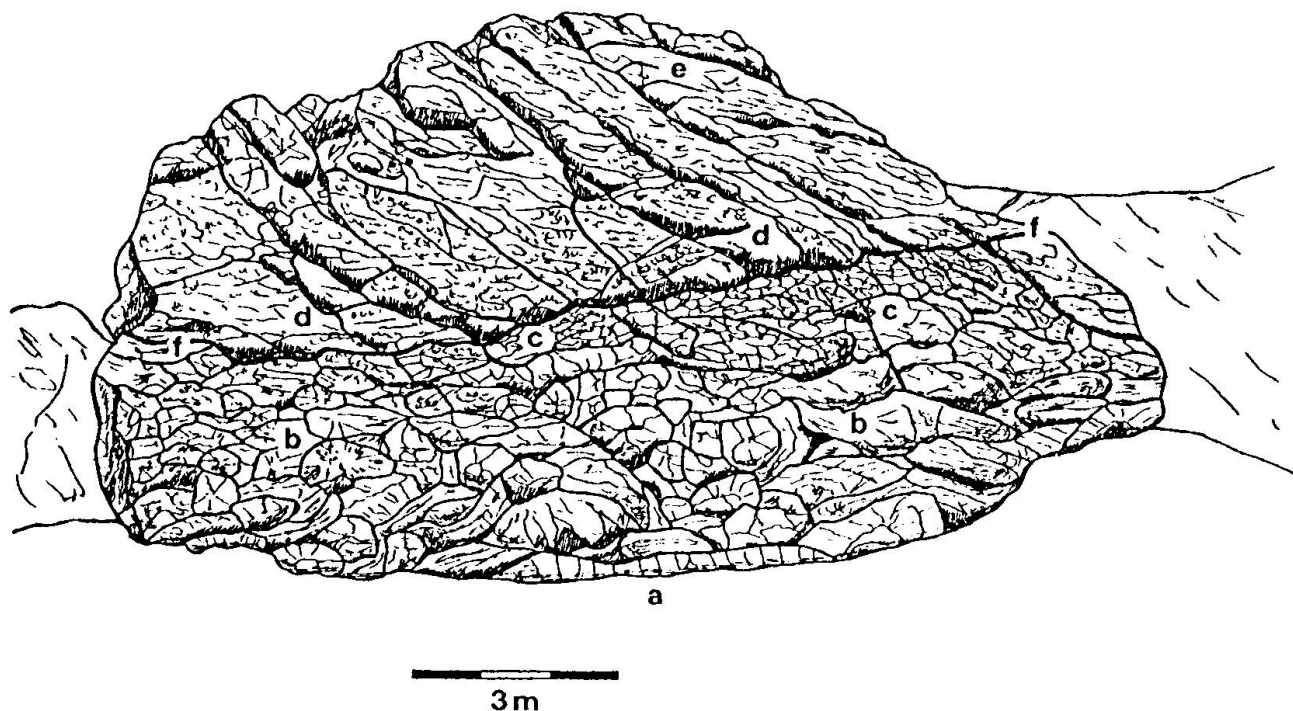
- Age mésozoïque (Juras. moyen – Crét. inférieur).

- Altération/métamorphisme: faciès prehnite-pumpellyite à schistes verts inférieur (spilitisation et métamorphisme alpin modérés).

- Tectonique: démembrement et fracturation importante, déformations pénétratives uniquement en bordure du massif.



*Fig. 1* Etna: Eperon rocheux du site d'Aci Castello (Château Normand).  
 a. Pillow géant ou «méga-pillow». e. Lambeaux de lave interstratifiés dans les hyaloclastites.  
 b. Hyaloclastites et brèches de pillows. f. Dykes sécants récents.  
 c. Pillows jointifs et tubes de lave. g. Coulée subaérienne historique.  
 d. Pillows bréchifiés au contact des hyaloclastites.



*Fig. 2* Montgenèvre: Esquisse d'un affleurement représentatif dans la région du Lac de la Chaussée (Unité du Rocher de l'Aigle).  
 a. Grands tubes de lave. d. Brèches de pillows anguleuses sans matrice.  
 b. Pillows et tubes de lave. e. Brèches arrondies de petite taille et hyaloclastites.  
 c. Pillows bréchifiés. f. Contact érosif primaire.



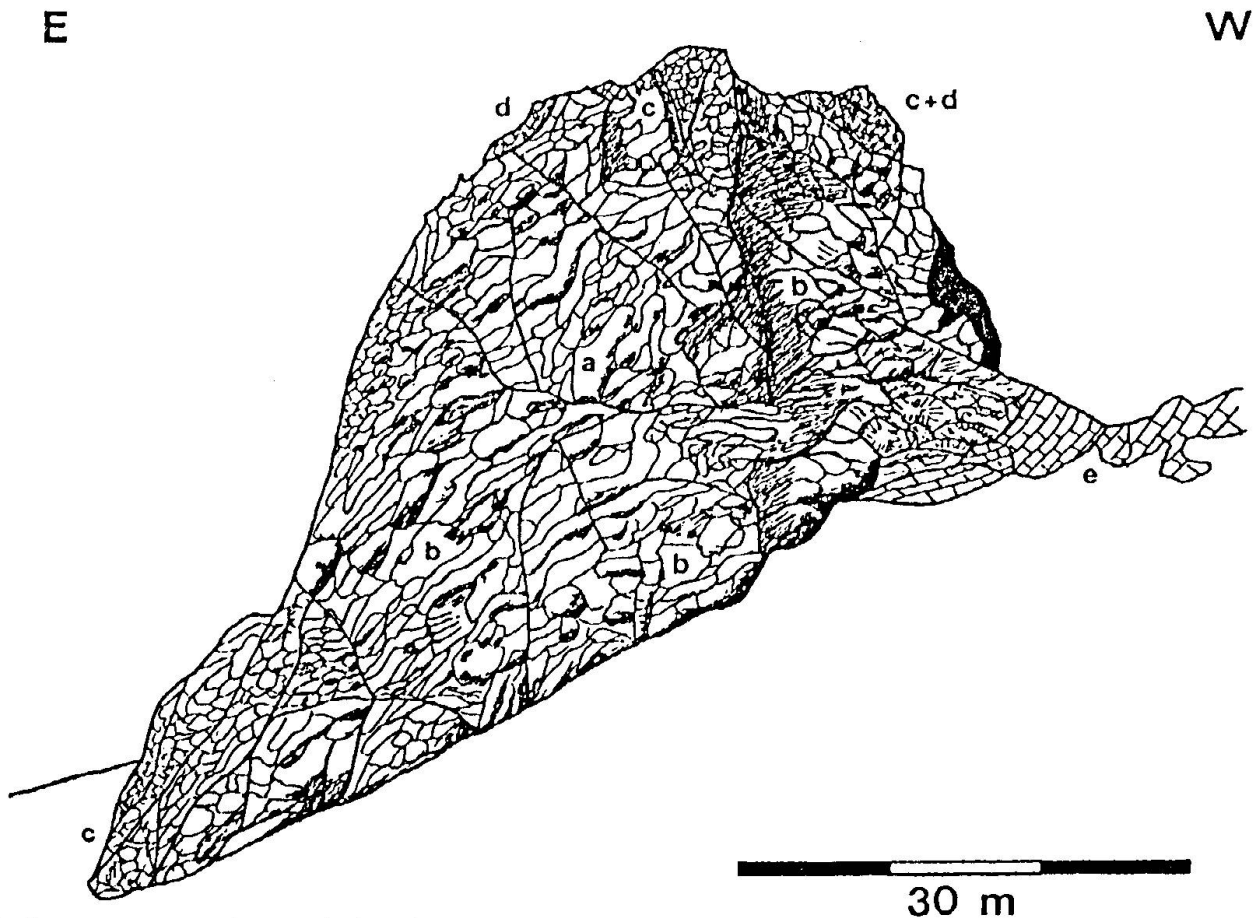


Fig. 3 Arosa: Face orientale de la Pointe du Hörnli.  
 a. Laves massives et grands tubes de lave.  
 b. Pillows jointifs et tubes de lave.  
 c. Pillows bréchifiés et brèches de pillows.  
 d. Brèches de pillows.  
 e. Schistes calcaires mésozoïques (flysch).

– Profondeur d'eau primitive: océanique (abyssal). Reliefs variables de type rides océaniques.

– Volcanicité: essentiellement effusive, avec un fort taux d'effusion.

– Morphologies volcaniques: coulées massives, pillows aplatis, allongés et arrondis, pillows bréchifiés, brèches.

– Brèches: juxtaposition verticale de coulées de pillows et de dépôts bréchiques arrondis/anguleux.

– Hyaloclastites: intimement associées aux pillows.

– Tectonique: fracturation alpine intense, blocs ophiolitiques démembrés, emballés dans des sédiments pélagiques mésozoïques.

– Profondeur d'eau primitive: océanique (abyssal). Reliefs variables de type rides océaniques.

– Volcanicité: essentiellement effusive, avec un fort taux d'effusion.

– Morphologies volcaniques: coulées massives, pillows aplatis et allongés, pillows bréchifiés.

– Brèches: la plupart des morphologies effusives sont fracturées et bréchifiées.

– Hyaloclastites: entre les pillows, rares.

#### AROSA (Fig. 3)

– Contexte alpin, ophiolitique.  
 – Age mésozoïque (Juras. moyen – Crét. moyen).

– Altération/métamorphisme: faciès prehnite-pumpellyite à schistes verts typique (métamorphisme alpin et forte spilitisation).

#### Pétrographie et géochimie

La signature géochimique de ces quatre sites, a été précisée à l'aide de diagrammes géotectoniques utilisant les éléments majeurs et traces suivants:  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $MnO$ ,  $P_2O_5$ ,  $Ti$ ,  $Zr$ ,  $Y$ ,  $Nb$  (PEARCE et CANN, 1973; MULLEN, 1983; MESCHÉDE, 1986). Résultats:

– *EPR*: basaltes tholéitiques, pauvres en  $K_2O$  et  $TiO_2$ , de type N-MORB.

– *Etna*: basaltes tholéitiques à transitionnels, intermédiaires entre fond océanique et intra-plaque.

– *Montgenèvre*: basaltes tholéitiques, relativement pauvres en  $K_2O$ , de type N-MORB, ayant subi une altération secondaire modérée (spilitisation).

– *Arosa*: basaltes tholéitiques, de type N-MORB, de composition franchement spilitique.

Ces caractéristiques sont confirmées par la pétrographie des centres cristallisés des pillows. Les textures sont toutes aphyriques à microporphyriques. Les phases primaires sont principalement l'olivine et le plagioclase: basaltes à olivine et à olivine + plagioclase. Ces cristaux se retrouvent aussi bien dans les centres cristallisés que dans les bordures vitreuses des laves, soit frais dans les coulées récentes (HEKINIAN et FOUQUET, 1985), soit sous forme de plagioclases albitisés et de fantômes chloritisés d'olivine dans les spilitites. Le clinopyroxène apparaît également en microphénocristaux dans certaines laves de rides et à Aci Castello, ainsi qu'en plages subophitiques au Montgenèvre et à Arosa: basaltes à plagioclase + olivine + pyroxène.

### Bordures variolitiques

Des variations texturales du bord vers le centre des pillows n'apparaissent particulièrement bien que dans les laves anciennes, où l'altération secondaire et le métamorphisme ont été marqués. Mais sur l'EPR, la transition depuis les bordures vitreuses fraîches vers l'intérieur cristallisé, se fait par l'intermédiaire d'une zone sphérolitique brune (seconde génération de cristallites de Plag + Ol + Cpx squelettiques), où des pseudo-varioles brunâtres sont centrées sur des lattes de plagioclase. A Aci Castello, la transition est encore plus tranchée, sans varioles ni sphérolites, la méso-stase de cristallites entourant directement les microphénocristaux présents. Par contre au Montgenèvre et à Arosa, les bordures variolitiques sont très bien développées, avec des varioles centimétriques, de composition albite + chlorite + sphène, centrées sur des nucléi feldspathiques. Vers l'intérieur cristallisé des pillows, apparaît d'abord une zone sphérolitique, puis une texture intersertale divergente (MEVEL, 1975). Dans ce cas, la matrice vitreuse a été remplacée par: chlorite, leucoxène et hématite.

Il ressort ainsi que les varioles commencent à se former très tôt en milieu océanique profond (processus de cristallisation rapide + dévitrifica-

tion), et s'expriment particulièrement bien lors de l'altération secondaire et du métamorphisme régional dans les laves ophiolitiques. Les facteurs temps, altération (spilitisation) et hypothétiquement profondeur d'eau, semblent jouer un rôle majeur.

### Conclusion

Il ressort de ces comparaisons, que des massifs ophiolitiques relativement bien préservés du métamorphisme régional, peuvent présenter des ensembles volcano-effusifs où une organisation interne est encore décelable. Des hypothèses sur les dynamismes éruptifs des paléo-coulées sous-marines, peuvent y être avancées, par le biais d'informations provenant des rides océaniques actuelles. Ces dernières fournissent ainsi un outil de comparaison et de référence utilisable, moyennant quelques précautions (tectonique, altération, métamorphisme), sur des sites sous-marins anciens.

### Remerciements

Je tiens à remercier MM. Hekinian et Bideau d'Ifremer (Brest) pour la mise à disposition du matériel de l'EPR, ainsi que pour leurs nombreuses indications sur la mise en place des laves en milieu océanique actuel.

### Références

- BALLARD, R.D. et MOORE, J.G. (1977): Photographic atlas of the Mid-Atlantic Ridge rift valley. Springer Verlag, New York, 114 p.
- BERTRAND, J., NIEVERGELT, P. et VUAGNAT, M. (1984): Oceanic sedimentary processes and alpine metamorphic events in the Montgenèvre ophiolite, Western Alps. *Ofioliti*, 9/3, 303–320.
- CHOUKROUNE, P., FRANCHETEAU, J. et HEKINIAN, R. (1984): Tectonics of the East Pacific Rise near 12°50' N: a submersible study. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 68, 115–127.
- CRISTOFOLINI, R. (1972): I basalti a tendenza tholeiitica dell'Etna. *Period. Mineral.*, 41/1, 167–200.
- DIETRICH, V., VUAGNAT, M. et BERTRAND, J. (1974): Alpine metamorphism of mafic rocks. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 54, 2–3, 291–332.
- GENTE, P., AUZENDE, J.M., RENARD, V., FOUQUET, Y. et BIDEAU, D. (1986): Detailed geological mapping by submersible of the East Pacific Rise axial graben near 13° N. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 78, 224–236.
- GRUNAU, H. (1947): Geologie von Arosa mit besonderer Berücksichtigung des Radiolarit-Problems. *Diss. Bern*, 109 p.
- HEKINIAN, R. et FOUQUET, Y. (1985): Volcanism and metallogenesis of axial and off-axial structures on the East Pacific Rise near 13° N. *Econ. Geol.*, 80/2, 221–249.
- KIEFFER, G. (1985): Evolution structurale et dynamique d'un grand volcan polygénique: stades d'édification

- et activité actuelle de l'Etna (Sicile). Thèse Etat, Univ. Clermont-Ferrand II, 497 p.
- MESCHEDE, M. (1986): A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, 56, 3/4, 207-218.
- MEVEL, C. (1975): Les zonations chimiques dans les pillow lavas spilitiques du Chenaillet et des Gets (Alpes françaises). *Pétrologie*, I/4, 319-333.
- MULLEN, E.D. (1983): MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 62, 53-62.
- PEARCE, J.A. et CANN, J.R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 19, 290-300.
- RING, U., RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., DÜRR, S. et BORCHERT, S. (1990): The internal structure of the Arosa Zone (Swiss-Austrian Alps). *Geol. Rdsch.*, 79/3, 725-739.
- ROMANO, R. et GILLIOT, P.Y. (1987): K/Ar dating of Mount Etna volcano. *Abstr. Hawaii Symp.*, Hilo.
- STURIALE, C. (1968): Le formazione errutiva submarine a nord di Catania. *Rend. Soc. ital. Mineral. Petrol.*, 24/2, 313-346.
- TRÜMPY, R. (1980): *Geology of Switzerland, a guidebook*. Ed. Wepf & Co, Basel, 104 p.

Manuscrit accepté le 11 mars 1991.