

Considérations préliminaires sur la configuration horizontale de l'édifice subvolcanique du Versoyen (Alpes franco-italiennes) analogue aux bassins en distension du type Golfe de Californie

par Henri LOUBAT *

RÉSUMÉ. — A la lumière de la récente découverte de sills basaltiques dans le golfe de Californie, la zone du Versoyen est décrite et interprétée en soulignant la structure horizontale de tous ses composants : les niveaux boudinés de serpentinites injectées dans les écaïlles cristallines de la Pointe Rousse, les nombreux sills basaltiques et les minces cloisons schisteuses avec adinoles, ainsi que les coulées étendues de basaltes en coussins. Cet édifice semble témoigner de larges déplacements latéraux de compartiments solides, concomitants avec les injections en sills qui déclenchèrent un puissant écoulement laminaire en commun avec les boues encaissantes, dans un paysage paléogéographique de marge continentale en distension, « océanisation » finalement avortée.

ABSTRACT. — The Versoyen zone (French-Italian Alps) is described and interpreted with emphasis on its exclusively horizontal primary configuration involving stretched serpentinite lenses within large dislocated compartments belonging to a crystalline basement, a thick body of numerous basaltic sills interlayered with black schists and adinoles, and pillow lava flows. A rather extended lateral mobility similar to a megascopic laminar flow seems to have concomitantly involved brittle units, plastic or loose bodies, as well as fluids. These phenomena suggest a mesozoic rifted shallow basin with a very local oceanization such as the gulf of California, but which later has aborted.

Un bref parallèle entre le golfe de Californie actuel et le domaine valaisan mésozoïque proposé précédemment (LOUBAT, 1975) vient d'être étayé par une série de forages sous-marins (DSDP, 1982). En effet, l'ensemble basaltique et ultramafique du Versoyen, qui pourrait constituer l'extrémité occidentale de ce domaine valaisan, était alors provisoirement considéré comme le résultat

de l'océanisation embryonnaire d'une marge continentale se disloquant à la façon de la côte ouest du Mexique et de la Californie (MOORE *et al.*, 1982). Cette analogie a d'ailleurs été développée indépendamment à partir de considérations sédimentologiques (KELTS, 1981). La première de ces comparaisons était inspirée, parmi d'autres observations, par la structure générale exclusivement

* Institut Dolomieu, Université de Grenoble.

horizontale de tous les composants volcaniques et intrusifs constituant la zone du Versoyen. Or la récente découverte par forages de filons-couches basaltiques dans le golfe de Californie, bassin marginal en cours d'extension, confirme l'intérêt de structures horizontales dans une région alpine facilement accessible, et qui est la relique d'une océanisation locale et finalement avortée.

LE VERSOYEN : UN EDIFICE SUBVOLCANIQUE SOUS-MARIN DE STRUCTURE HORIZONTALE

Située de part et d'autre de la frontière franco-italienne près du col du Petit Saint-Bernard (fig. 1), la zone du Versoyen appartient, selon P. ANTOINE (1971, 1972), à un ensemble anté-flysch d'une des unités de la zone des Brèches de Tarentaise qui se relaient au front de la zone houillère Briançonnaise. Cet auteur situe la mise en place des basaltes (de nette tendance tholéiitique) entre le Malm (inclus) et le Sénonien (exclu) avec une

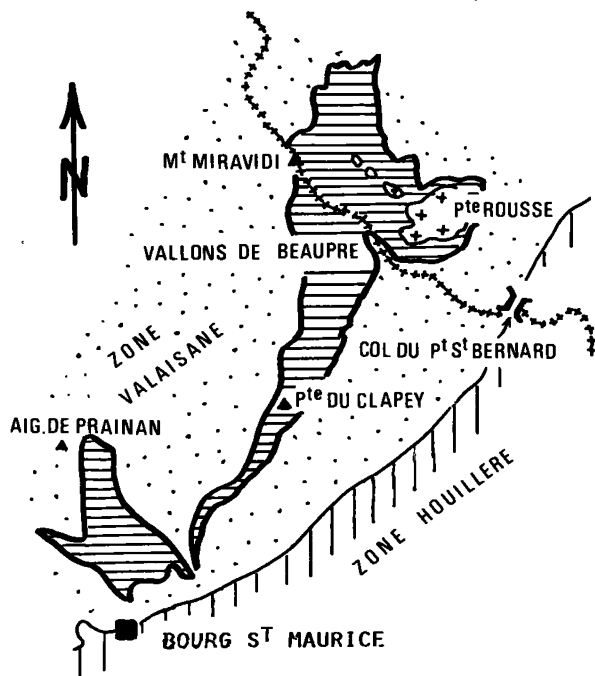


Fig. 1. — La zone ophiolitique du Versoyen (hachuré horizontal). Les écaillés de socle permien et antépermien (?) de la Pointe Rousse (Italie) figurent avec des croix.

meilleure probabilité pour le Crétacé inférieur ou moyen. L'édifice subvolcanique se présente en position renversée, plongeant modérément vers le SE. Si, comme nous le ferons toujours désormais, l'on redresse l'édifice en position normale et si l'on esquisse un profil schématique du NNE au SSW sur une distance de 13 km (fig. 2), on obtient un système intrusif cohérent qui peut être qualifié d'ophiolitique, mais où le « complexe filonien » classique est remplacé par un complexe de filons-couches. Trois secteurs appartenant à cette zone en résument les caractères essentiels : la Pointe Rousse, les hauts vallons de Beaupré et la Pointe du Clapey (LOUBAT, 1967, 1968; LASSERRE *et al.*, 1976).

La Pointe Rousse : écaillés cristallines leucocrates associées aux serpentinites.

Au NNE du massif, sur le versant italien, s'échelonnent des écaillés cristallines complexes et extrêmement leucocrates (en partie permiennes selon P. ANTOINE, 1972) dont la plus volumineuse atteint plusieurs centaines de mètres de dimensions. Une « couverture » détritique recristallisée appartient à ces écaillés et est constituée de bancs de puissance métrique et décamétrique de quartzite bréchifié (arénite ?) et de conglomérat laminé à galets leucocrates dominants. Or un niveau très boudiné de serpentinite dont l'épaisseur passe du mètre à la centaine de mètres (photo 1) semble s'être injecté de façon plastique entre cet horizon de « couverture » et la masse principale leptynitique et gneissique sous-jacente. Des pointements de cargneules triasiques se succèdent dans ce secteur, parallèlement aux écaillés cristallines leucocrates et aux lambeaux de serpentinite. La géométrie de l'ensemble est encore compliquée par la présence, d'une part, d'un puissant filon-couche gabbroïque dont les marges présentent des structures en coussins et, d'autre part, de puissantes coulées de basaltes sous-marins associés à des schistes gris d'un ensemble antéflysch (ANTOINE, 1972). Une constante évidente émerge pourtant de ces complications. Il s'agit d'une géométrie initiale toujours essentiellement horizontale : aucun filon, aucun accident vertical ou oblique n'a laissé de trace dans ce secteur ! En revanche, les indices de déplacements et de déformations horizontaux ou subhorizontaux s'accroissent, peut-

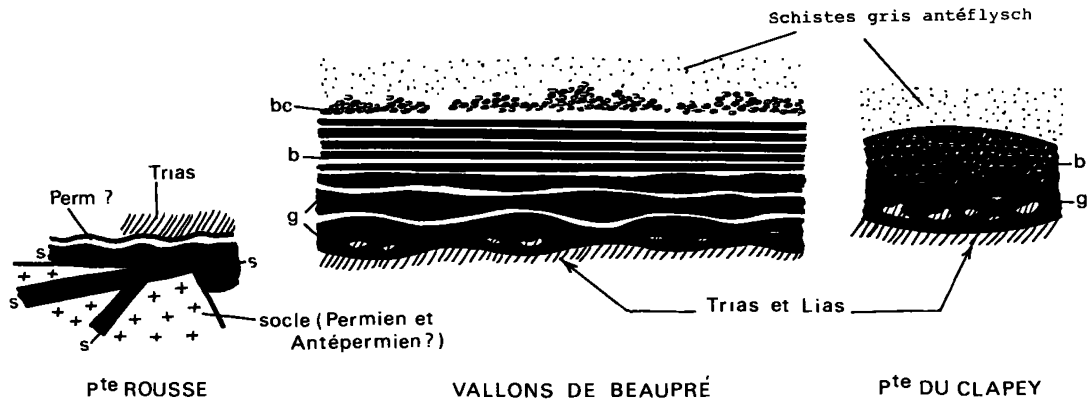


Fig. 2. — Profil NNE-SSW très schématisé de trois secteurs démonstratifs de la zone du Versoyen. Les serpentinites (s) pourraient être des intrusions quasi-diapyriques de l'asthénosphère plastique dans des compartiments cristallins disloqués. Les autres intrusions horizontales sont gabbroïques (g), basaltiques (b) ou « en coussins » (bc). Il faut observer que l'énorme intrusion lenticulaire de la Pointe du Clapey s'est mise en place entre les mêmes niveaux stratigraphiques que le réseau très serré de sills injectés dans une fosse comblée de sédiments meubles. La distension crustale avait entraîné un profil stratigraphique irrégulier et hétérogène, s'offrant à l'intrusion horizontale du magma.

être contemporains des injections et coulées magmatiques, elles-mêmes s'opérant selon un plan quasi-horizontale.

Les sills des hauts vallons de Beaupré.

Les pentes descendant vers la France de part et d'autre de la Pointe de Beaupré à partir de la ligne de crête frontière révèlent un remarquable édifice de plus de 1 200 m d'épaisseur constitué d'une vingtaine de sills basaltiques séparés par des cloisons peu épaisses (quelques mètres) de schistes noirs (photos 2 et 3). Au moins vers le haut de ce bâti, les évidences telles que des niveaux de pépérites et des formes en coussins marginales indiquent que les filons-couches se sont injectés dans des sédiments très meubles et gorgés d'eau. Des coulées basaltiques en coussins et les schistes gris préflysch constituent le sommet de cette séquence, alors que l'épaisseur des sills sous-jacents s'accroît en profondeur pour dépasser 50 m de puissance pour les plus profonds qui se dilatent localement en lentilles et qui enclavent des éléments de calcaires liasiques, dolomitiques et peut-être d'évaporites. Certains de ces sills, dont on retrouve des représentants à l'Aiguille de Prainan, s'étendaient sur plus de 10 km.

Mais il faut souligner ici quelques caractéristiques rarement décrites ailleurs :

a) le volume total des filons-couches est très anormalement supérieur au volume total des cloisons schisteuses formant l'encaissant;

b) l'absence complète de dykes entre les niveaux intrusifs de cet ensemble, parfaitement en « parallèle »;

c) la fréquence d'un liséré blanc, porcelané, quartzfeldspathique, à structure microbrèche, au long des contacts entre les sills et les schistes. Ces « adinoles » confirment la grande quantité de fluides disponibles dans le magma et surtout dans les boues encaissantes;

d) un métamorphisme de faciès « schistes verts » irrégulièrement distribué, que l'auteur attribue à un épisode tardi-magmatique très prononcé d'autoaltération par les fluides résiduels au cours du refroidissement de cet édifice dont le cloisonnement assurait un bon isolement thermique et l'activité « in situ » des éléments volatils (LOUBAT, 1967, 1968, 1984).

La Pointe du Clapey : ensemble hybride sub-volcano-sédimentaire.

Cette aiguille est constituée d'une seule vaste poche gabbroïque et basaltique, gravifiquement différenciée, de forme lenticulaire avec petit rayon dépassant 400 m, qui non seulement a assimilé

beaucoup d'enclaves sédimentaires triasiques et liasiques de toutes tailles, ce qui a engendré des paragenèses deutériques spéciales, mais aussi a puissamment métamorphisé ses épontes, constituées du Lias à sa base et des schistes gris du faciès préflysch à son toit. La base et le toit de cette seule chambre magmatique correspondent donc aux niveaux extrêmes, les plus profonds et les plus superficiels, de l'édifice de sills du secteur de Beaupré. On peut en déduire que la Pointe du Clapey est une excroissance latérale géante d'un sill, vers où convergiaient peut-être les autres filons-couches à la suite d'un drainage hypabyssal latéral.

LE VERSOYEN : MODELE EN REDUCTION D'UNE LITHOSPHERE EN DISTENSION ?

Indépendamment des découvertes ponctuelles de sills dans le golfe de Californie, les océanographes et géophysiciens cherchent à préciser les mécanismes et la géométrie des dislocations crustales amorçant l'océanisation des marges continentales (AAPG Memoir 34, 1982; BOILLOT *et al.*, 1984). Or les modèles proposés semblent pour la plupart offrir la possibilité (et même la nécessité !) de l'accès de basaltes ou d'ultramafites en voie de serpentinisation vers les niveaux supé-

rieurs des compartiments disloqués (fig. 3). Cet accès peut être offert aussi bien par un faisceau de failles listriques dans un milieu en extension (CHENET *et al.*, 1982) que par un système de compartiments en « paquet de cartes » (LE PICHON *et al.*, 1982).

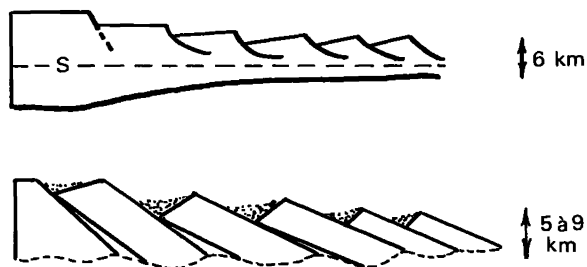


Fig. 3. — Deux modèles de dislocation de marge continentale supérieure: en haut d'après Chenet *et al.* (1982), en bas d'après Le Pichon *et al.* (1982). Dans le premier, une croûte supérieure « fragile », sujette à des failles listriques très prononcées, est séparée de la croûte ductile par l'« horizon S ». Dans le deuxième modèle, en « paquet de cartes », les failles sont planes, sauf dans les niveaux inférieurs plastiques. Dans les deux cas cependant, la dislocation peut facilement s'accompagner d'intrusions de matériel asthénosphérique plastique et de magmas basaltiques, ce qui conduit dans les niveaux supérieurs à des édifices comme le Versoyen.

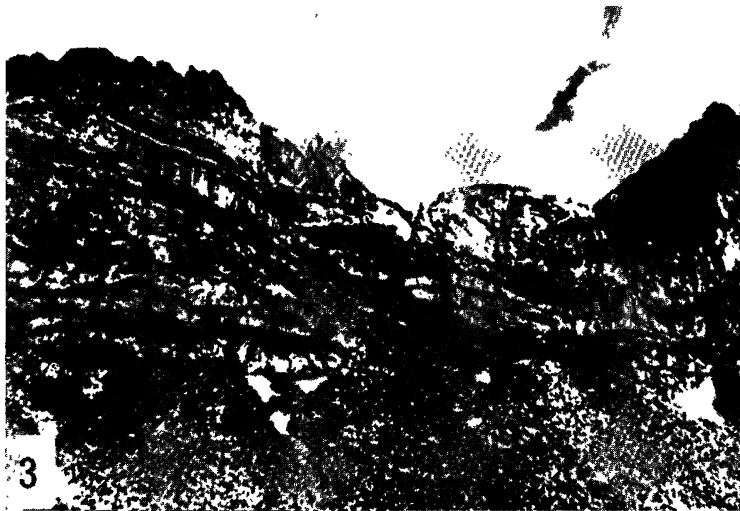
Le Cristallin de la Pointe Rousse : relique d'un compartiment crustal « cassant ».

En transposant sur la zone du Versoyen les profils géophysiques des zones en distension qui

Photo 1. — Versant sud de la Pointe Rousse (Italie). Le niveau assez épais, extrêmement boudiné, de serpentinite (au centre, avec le marteau) semble injecté entre des bancs de quartzite bréchifié qui se moulent sur le boudinage (au-dessus). Sous la serpentinite, recouverts d'herbe, des niveaux de conglomérat leucocrate laminés. Les leptynites de la Pointe Rousse se devinent en haut à droite. Cette unité est entièrement en position renversée.

Photo 2. — Panorama de la zone centrale du Versoyen (secteur de Beaupré) photographié vers le N à partir de la Pointe du Clapey. Le sommet enneigé au milieu, au-dessus et derrière la ligne de crête sombre (frontière avec l'Italie), est le Mont Blanc. Au centre gauche, sous le nuage, le col du Breuil, à gauche duquel les pentes du flysch des couches de Saint-Christophe. Au centre droit, le col des Rousses, de part et d'autre duquel on voit l'édifice des sills basaltiques en position renversée, plongeant vers la droite, le S.E. Le Mt Miravidi (3 066 m) immédiatement à droite du col du Breuil, est constitué de laves et de brèches de coussins, associés aux sédiments préflyschs (schistes gris) formant la falaise claire descendant vers nous. L'épaisseur assez régulièrement croissante des sills, de gauche à droite jusqu'au bord de la photo, est bien visible.

Photo 3. — Falaise ouest, de la Pointe des Veis à la Pointe de Beaupré. Secteur de Beaupré. Les sills basaltiques (plutôt clairs), tendant à devenir plus puissants vers le haut, sont séparés par des niveaux schisteux sombres. Les dislocations et ondulations de l'ensemble sont de légères déformations dues à la tectonique alpine qui a renversé la série.



comportent un niveau supérieur « fragile » séparé d'un niveau ductile sous-jacent, il apparaît que le Cristallin de la Pointe Rousse constitue peut-être un élément disloqué des niveaux fragiles, cassants, dans lesquels se sont injectés des ultramafites en voie de serpentisation au cours de leur montée latérale selon des plans très peu inclinés sur l'horizontale, dans une sorte de diapirisme oblique (LOUBAT, 1973).

Le secteur de Beupré : une fosse sous-marine peu profonde comblée de boues envahies par les sills entraînant un écoulement laminaire.

La distension d'une marge continentale entraîne des subsidences locales le long de certains axes envahis par la mer et éventuellement comblés par les transports d'un fleuve empruntant la vallée prolongeant l'axe subsident (comme le fleuve Colorado dans l'axe du golfe de Californie). Ces dépôts meubles ne peuvent offrir un appui rigide pour la formation de dykes en cas d'intrusions magmatiques qui, dès lors, tendront à s'épancher en filons-couches plus ou moins profonds. Mais, au Versoyen, cette vision des choses se heurte à une constatation inattendue : le volume des sédiments encaissant les multiples sills est inférieur au volume total des basaltes (rapport des volumes de l'ordre de 1/5) à un point tel que les cloisons schisteuses pourraient plutôt être considérées comme des *enclaves* lamellaires au sein d'un très vaste volume basaltique ! On ne peut guère expliquer ce dispositif en injections parallèles si l'on tient compte de la différence de densité entre magma basaltique et sédiments meubles, qui aurait entraîné le magma à s'étendre en un puissant sill profond sur un socle induré (MC BIRNEY, 1963).

Pour expliquer ce réseau très serré de filons-couches, nous invoquerons d'une part les phénomènes d'interface « basalte chaud - sédiments froids » (tensions superficielles, « trempe ») et d'autre part, les « surpressions » de fluides brusquement chauffés dans les sédiments poreux. Cet éclairage du processus nous est suggéré par la quasi omniprésence des adinoles, ainsi que par le métamorphisme tardi-magmatique intense.

Le fossé subsident est large d'environ 10 km, mais les boues qui le comblent ne dépassent pas

une épaisseur de 300 m, reposant sur un fond induré (qui d'ailleurs se disloque dans la distension) de Trias-Lias et Cristallin. Dans le cours de l'océanisation (dont le profil est encore discuté), le Cristallin disloqué est pénétré de niveaux ductiles ultramafiques et de poches de magma basaltique résultant d'une fusion partielle plus ou moins éloignée. Les parois de ces chambres magmatiques (le « réseau d'accumulation » selon LOUBAT, 1973) en partie constituées de compartiments cristallins du socle se déforment à cause de la distension et les réservoirs « crèvent » occasionnellement, déclenchant un épanchement latéral vers le fossé subsident. C'est ici que doit s'expliquer l'amorce du système serré de filons-couches. La grande fluidité du basalte interdit l'image d'une très puissante coulée pénétrant les boues sur un front de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur ! En revanche, la nappe de basalte s'épanchera selon un profil aminci vers l'avant et vers le bas, « roulant » en quelque sorte (fig. 4) sur un niveau induré (ici le Lias et le Trias dont des blocs sont enclavés) et « cuisant » ses épontes en portant l'eau contenue dans les sédiments poreux sus-jacents à une température supercritique. Immédiatement au-dessus et un peu en retrait, des niveaux basaltiques vont

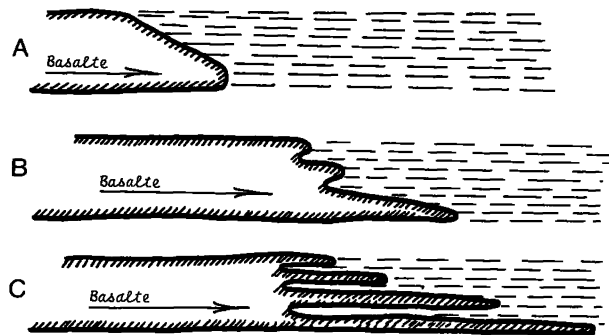


Fig. 4. — Hypothèse pour expliquer le développement de séries de sills basaltiques dans un bassin comblé de sédiments meubles et très humides. Une puissante intrusion tend à enclaver des lames de boue et à les « laminer », ces lames jouant rapidement le rôle de cloisons à cause de phénomènes complexes à l'interface boue-basalte, tels que marge trempée, varioles, laves en coussins marginales, « surpression » des fluides chauffés dans les sédiments, formation d'adinoles, le tout dans un vaste « écoulement » laminaire. L'épisode B évoque l'amorce de la séparation des lames basaltiques par des écrans sédimentaires.

à leur tout « rouler » sur ce « tapis » préparé par le niveau basaltique sous-jacent. « Cuisant » ou surchauffant leur encaissant humide, ils induiront l'injection du niveau basaltique supérieur, qui, en somme, va « *trapper* » une lame sédimentaire poreuse devenue cohérente à cause de la surpression des fluides. La « trempe » des pellicules basaltiques périphériques aux sills va contribuer à séparer nettement les minces niveaux boueux surchauffés et les langues intrusives, deux domaines fluides glissant parallèlement dans un vaste *écoulement laminaire* et conférant finalement aux cloisons sédimentaires le statut d'*enclaves* en lamelles très étendues. Beaucoup d'indices pétrographiques suggèrent que cet ample déplacement laminaire, subhorizontal, s'est amorti très lentement au cours des épisodes de cristallisation et deutériques pour aboutir à une lamination finale des formes en coussins marginales et à la bréchi-fication des adinoles. Dans le fossé subsident dont le profil profond est irrégulier à cause des compartiments abandonnés par la distension, des configurations mégascopiques très irrégulières peuvent amener les multiples sills à se regrouper en une très grande lentille complexe comme la Pointe du Clapey.

Il s'avère ainsi que les Alpes occidentales possèdent peut-être un excellent champ d'étude des effets *superficiels* d'une distension marginale débutante. Il semble déjà permis de souligner, pour la zone du Versoyen, l'importance des mouvements *latéraux concomitants* de masses solides rigides, de volumes plastiques ou meubles, et de fluides.

BIBLIOGRAPHIE

- AAPG Memoir 34, 1982. — Studies in continental margin geology. Watkins and Drake edit. *The American association of petroleum geologists*. Tulsa. U.S.A., 801 p.
- ANTOINE P., 1971. — La zone des brèches de Tarentaise entre Bourg-Saint-Maurice (vallée de l'Isère) et la frontière italo-suisse. Mémoire n° 9. *Travaux du lab. de géol. de l'Université de Grenoble*.
- ANTOINE P., 1972. — Le domaine pennique externe entre Bourg-Saint-Maurice (Savoie) et la frontière italo-suisse. *Géologie alpine*, t. 48, pp. 5-40.
- BOILLOT G., MONTADERT L., LEMOINE M. et BIJU-DUVAL B., 1984. — Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France. Masson, 342 p.
- CHENET F., MONTADERT L., GAIRAUD H. et ROBERTS D., 1982. — Extension ratio measurements on the Galicia, Portugal, and northern Biscay continental margins: implications for evolutionary models of passive continental margins. *AAPG Memoir n° 34*, pp. 703-715.
- DSDP, "Initial Reports on the deep sea drilling project". Vol. LXIV, 1982. Part 1 and 2. Nat. Sci. Foundation. University of California. Scripps Inst. of Ocean.
- KELTS K., 1981. — A comparison of some aspects of sedimentation and translational tectonics from the Gulf of California and the Mesozoic Tethys, Northern Penninic Margin. *Eclog. Geol. Helv.*, 74, 2, pp. 317-338.
- LASSERRE J.L. et LAVERGNE C., 1976. — Le volcanisme tholéiitique de la zone du Versoyen (Alpes franco-italiennes): minéralogie, pétrographie et géochimie. Thèse de doctorat de 3^e cycle de l'Université de Grenoble en géologie appliquée.
- LE PICHON X., ANGELIER J. et SIBUET J.C., 1982. — Subsidence and stretching. *AAPG Memoir n° 34*, pp. 731-741.
- LOUBAT H., 1967. — Un type particulier de volcanisme et de métamorphisme: le Versoyen (Alpes franco-italiennes). *C.R. des séances SPHN, Genève*, Vol. 2, fasc. 3, pp. 217-223.
- LOUBAT H., 1968. — Etude pétrographique des ophiolites de la zone du Versoyen, Savoie (France). Province d'Aoste (Italie). *Arch. Sc. Genève*, Vol. 21, fasc. 3, pp. 265-457.
- LOUBAT H., 1973. — Soubassement des dorsales volcaniques océaniques. Modèle de réseau magmatique composite. *Bull. suisse Min. Pétr.*, Vol. 53/3, pp. 337-354.
- LOUBAT H., 1975. — La zone du Versoyen. Témoin possible d'une intersection entre dorsale volcanique océanique et marge continentale. *Arch. Sc. Genève*, pp. 101-116.

- LOUBAT H., 1984. — La zone du Versoyen (Alpes franco-italiennes) : le témoin d'une océanisation mésozoïque circonscrite constituant un milieu hybride, subvolcano-sédimentaire, avec mobili-sats et adinoles. *Géologie Alpine*, t. 60, pp. 45-76.
- Mc BIRNEY A., 1963. — Factors governing the nature of submarine volcanism. *Bull. volc.*, T. XXVI, pp. 455-469.
- MOORE D.G. et CURRAY J.R., 1982. — Geologic and tectonic history of the Gulf of California. In *DSDP*, Vol. LXIV. Part 2, pp. 1279-1294.