

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

Band: 52 (1972)

Heft: 3

Artikel: Répartition en deux provinces des péridotites des chaînes alpines
logeant la Méditerranée : implications géotectoniques

Autor: Nicolas, Adolphe / Jackson, Everett D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40611>

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: 30.03.2025

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

Répartition en deux provinces des péridotites des chaînes alpines logeant la Méditerranée: implications géotectoniques*)

Par *Adolphe Nicolas* (Nantes)**) et *Everett D. Jackson* (Menlo Park)***)

Avec 3 figures dans le texte

Résumé

Les péridotites affleurant entre l'arc rifain et l'Autriche sont principalement des lherzolites à structure métamorphique. Elles représenteraient le manteau supérieur sous-jacent à une croûte continentale, comme en témoigne leur association fréquente avec des granulites. Les péridotites affleurant depuis la Yougoslavie jusqu'en Anatolie sont surtout des harzburgites à structure métamorphique qui représenteraient le manteau supérieur océanique. Elles sont associées au sein des complexes ophiolitiques à des péridotites et gabbros à structure de cumulats considérés comme fragments d'une croûte océanique. La répartition des péridotites en deux provinces serait une conséquence de l'évolution géodynamique générale du bassin méditerranéen. La Téthys occidentale étant relativement modeste, sa réduction lors de l'orogénèse alpine entraînerait l'affrontement de plaques à croûte continentale favorisant l'entraînement vers la surface de copeaux du manteau lherzolitique sous-jacent. Au contraire, la Téthys orientale étant largement ouverte, c'est la croûte océanique et le manteau harzburgitique sous-jacent qu'il faut s'attendre à observer dans les sutures ophiolitiques témoignant de la fermeture du bassin.

Summary

The peridotites in the alpine belt between the Rifan arc and Austria are mainly lherzolites with metamorphic textures. As illustrated by their common association with granulites they could represent the upper mantle underlying a continental crust. On the other hand, the peridotites from Yugoslavia to Anatolia are mainly harzburgites with metamorphic textures. They are considered as representing the upper mantle underneath an oceanic crust. Along with cumulus peridotites and gabbros forming this oceanic crust, they belong to the ophiolite suite. The separation of peridotites into two provinces appears to be a consequence of the general geodynamic evolution of the Mediterranean. The western Tethys might have been divided into small basins between continental plates whose collusion at the time of the closure resulted in the tectonic intrusion of

*) Publication autorisée par le Directeur de l'U.S. Geological Survey.

**) Laboratoire de Géologie Structurale, P.B. 1044, 44037 Nantes Cedex, France.

***) U.S. Geological Survey 345 Middlefield Road, Menlo Park, 94025 California.

slices of the lherzolitic mantle underlying those plates. The eastern Tethys is assumed to be an open ocean; consequently oceanic crust and underlying harzburgitic mantle are expected to occur in the ophiolitic sutures due to the closure of this ocean.

I. INTRODUCTION

Depuis sa définition par THAYER (1960) le concept de péridotites alpino-types s'est développé au point de rassembler des faciès sensiblement différents.

Considérant le contexte structural et tectonique, DEN TEX (1969) a proposé de diviser ce groupe qu'il appelle encore «orogénique» en deux sous-groupes: les péridotites «ophiolitiques» et les péridotites de «zone de racines» qui ne sont pas associées à des ophiolites mais à des roches métamorphiques catazonales. Il semble que les «high temperature peridotites» de GREEN (1967), qui sont des lherzolites, appartiennent à ce second groupe. Plus récemment, considérant la nature des péridotites alpino-types, JACKSON et THAYER (sous presse) distinguent le sous-groupe des harzburgites et celui des lherzolites. Leurs deux sous-groupes sont identiques quant à la structure qui est «tectonique et métamorphique» (voir plus bas) mais différents quant au type pétrographique dominant, au chimisme global, à la composition minéralogique, à la nature des filons inclus et aux gisements miniers qui leur sont associés. La situation se complique encore du fait que plusieurs auteurs (revue in JACKSON, 1971) décrivent, associées aux péridotites précédentes à structure de tectonite, des ultrabasites à structure de cumulat évoquant une origine magmatique, comme dans le cas des péridotites «stratiformes» auxquelles THAYER (1960) opposait les péridotites alpino-types.

Un des buts de cette note est de montrer qu'appliquées aux péridotites des chaînes alpines de Méditerranée, ces définitions distinctes sont complémentaires et s'éclairent l'une l'autre. Ainsi, le sous-groupe des «lherzolites» de JACKSON et THAYER semble coïncider, dans l'ensemble, avec les «High temperature» péridotites de GREEN et avec les péridotites de «zone de racines» de DEN TEX; en Méditerranée, il domine nettement au sein d'une province occidentale s'étendant de l'arc du Rif jusqu'aux Alpes autrichiennes. Le sous-groupe des «harzburgites» de JACKSON et THAYER entre dans celui des péridotites «ophiolitiques» de DEN TEX à condition d'y inclure aussi les péridotites à structure de cumulat qui les accompagnent au sein des complexes ophiolitiques. Ce sous-groupe caractérise une province orientale de la Méditerranée qui va des Dinarides, où elle se relie à l'autre province, jusqu'en Anatolie et au-delà.

Pour éviter des confusions et pour tenir compte des divisions qu'autorise l'étude des structures, nous proposons de diviser l'association ophiolitique en deux groupes:

1. Groupe magmatique comprenant les basaltes, dolérites, gabbros intrusifs, gabbros non déformés et péridotites feldspathiques¹⁾ à structure de cumulats.
2. Groupe métamorphique comprenant les péridotites à structure tectonique et métamorphique, et parfois des tectonites à composition gabbroïque. L'utilisation de l'adjectif métamorphique appelle la mise au point suivante: on entend par là, à la suite de THAYER (1960, 1971) les faciès, péridotites surtout, où les minéraux, olivine, pyroxènes, accessoires sont déformés et recristallisent en liaison avec des mouvements ayant lieu à haute pression et haute température. Des structures métamorphiques en résultent (foliation, linéation) (NICOLAS et al., 1971, 1972). Bien que souvent surimposé, le métamorphisme alpin n'est pas considéré ici. Il se caractérise par la serpentinisation en antigorite qui traduit un environnement hydraté et une température inférieure à 500°.

Cette division de l'association ophiolitique a pour effet d'entraîner dans le groupe métamorphique des cumulats déformés (p. 486). Elle se justifie toutefois en raison de la coupure assez nette dans la plupart des complexes ophiolitiques entre des roches ignées relativement peu déformées et les tectonites.

Ainsi considérées, les ophiolites de la province orientale présentent une belle association des faciès du groupe magmatique avec des harzburgites du groupe métamorphique. Dans la province occidentale, les faciès du groupe magmatique des ophiolites sont moins bien représentés et surtout ne sont pas spécialement associés aux faciès du groupe métamorphique des lherzolites qui caractérisent pour nous cette province.

Dans la théorie de la tectonique globale, les sutures ophiolitiques où affleurent ces péridotites témoignent de l'activité orogénique passée (LAUBSCHER, 1969; COLEMAN, 1971). Nous nous proposons ici de montrer que le groupe des péridotites métamorphiques de la province occidentale pourrait représenter le manteau continental et celui de la province orientale le manteau océanique, tandis que le groupe magmatique de l'association ophiolitique correspond à la croûte océanique. Sa réduction dans la province occidentale et la nature distincte des péridotites indiquent une évolution géotectonique différente des deux provinces de la Méditerranée.

¹⁾ Nous tenons à insister sur le fait que deux sortes de roches fort différentes pouvant être associées ou appartenir à l'association ophiolitique sont appelées «lherzolites feldspathiques». Les unes, du type métamorphique, connues par exemple à Lanzo, possèdent une forte «fabrique» de tectonite et une minéralogie caractérisée par des rééquilibres de subsolidus à partir de faciès de péridotites de plus haute pression. Les autres, du type magmatique, connues en Yougoslavie, en Grèce et de façon générale dans notre province orientale, sont des cumulats à olivine, peu déformés, avec croissance de pyroxènes et de plagioclase après le dépôt magmatique.

II. LA PROVINCE OCCIDENTALE LHERZOLITIQUE

Les massifs définissant la province occidentale sont à composition lherzolitique dominante (fig. 1). Il y existe évidemment des dunites et des harzburgites mais, outre qu'elles sont accessoires, on peut généralement montrer qu'elles sont un reliquat de fusion partielle dont les produits s'observent sur place sous forme de pyroxénites et de gabbros (BOUDIER et NICOLAS, 1972). Comme il ressort de la figure 2, chimiquement les roches de ces massifs s'apparentent aux pyrolites de RINGWOOD (1966) et GREEN et RINGWOOD (1967) c'est-à-dire aux modèles du manteau supérieur non différencié actuellement admis.

Ces massifs présentent des structures comparables tant sur le terrain qu'au laboratoire. Elles sont dues à des déformations à l'état solide suivant des

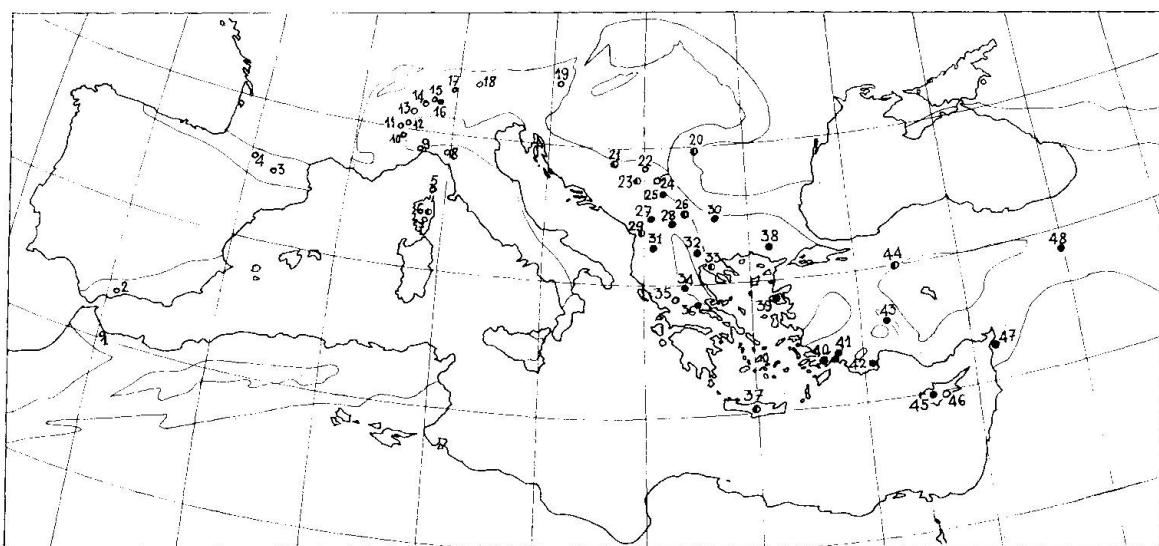


Fig. 1. Répartition des péridotites dans les chaînes alpines méditerranéennes. Faciès pétrographiques dominants: cercles blancs, lherzolite, wehrlite; cercles noirs, harzburgite et dunite; cercles à moitié noir, massifs hybrides.

1 - Beni Bouchera (KORNPROBST, 1971); 2 - Ronda (DICKY, 1970); 3 - Lherz (MONCHOUX, 1970); 4 - Moncaup (MONCHOUX, 1970); 5 - Cap Corse (GUILLOU, PRIMEL, 1964); 6 - Casaluna (FRANCONI, 1967); 7 - Firmorbo (MAISONNEUVE, 1960); 8 - Apennin septentrional (GALLI, 1963); 9 - Voltri (BEZZI, PICCARDO, 1971); 10 - Lanzo (NICOLAS, 1966); 11 - Locana (NICOLAS, 1968); 12 - Baldissero (ETIENNE, 1971); 13 - Val Sesia (LENSCH, 1968); 14 - Finero, Val Strona-Val d'Ossola (VOGT, 1962; LOSCHI-GHITTONI, 1964; LENSCH, 1968); 15 - Alpe Arami (MOCKEL, 1969); 16 - Alpe Alaï (DAL VESCO, 1953); 17 - Totalp (PETERS, 1963); 18 - Ötztal (HAMMER, 1926); 19 - Waldiviertel-Wegscheid (HAMMER, 1926); 20 - Orsava (HIESSLEITNER, 1952); 21 - Borja-Dubostica (id.); 22 - Bukowska Planina (id.); 23 - Zlatibor (id.); 24 - Stara Raska (id.); 25 - Brezovica (KARAMATA, 1968); 26 - Lojane (HIESSLEITNER, 1952); 27 - Letaj-Djakovica (id.); 28 - Ljuboten-Radusche (id.) (GREV, 1964); 29 - Merdita (HIESSLEITNER, 1952); 30 - Rila Planina (id.); 31 - Klos (id.); 32 - Alehar-Rozden (id.); 33 - Chalkidika (id.); 34 - Vourinos (BRUNN, 1956; MOORES, 1969); 35 - Pinde Septentrional (BRUNN, 1956; PARROT, 1967); 36 - Domokos (HIESSLEITNER, 1952; ZACHOS, 1964); 37 - Crête (HIESSLEITNER, 1952); 38 - Souffion (id.); 39 - Mytilene (id.); 40 - Mugla (BASSAGET, 1966); 41 - Koycegiz (MAITRE, 1967); 41 bis - Andizlik (ENGİN, HIRST, 1970); 42 - Antalya (JUTEAU, 1970); 43 - Egridir (PERRIN, 1970); 44 - Mihali ceik (COGULU, 1967); 45 - Troodos (GASS, 1967); 46 - Kellaki (LAPIERRE, 1966); 47 - Hatay (DUBERTRET, 1953); 48 - Soridag-Guleman (HIESSLEITNER, 1952).

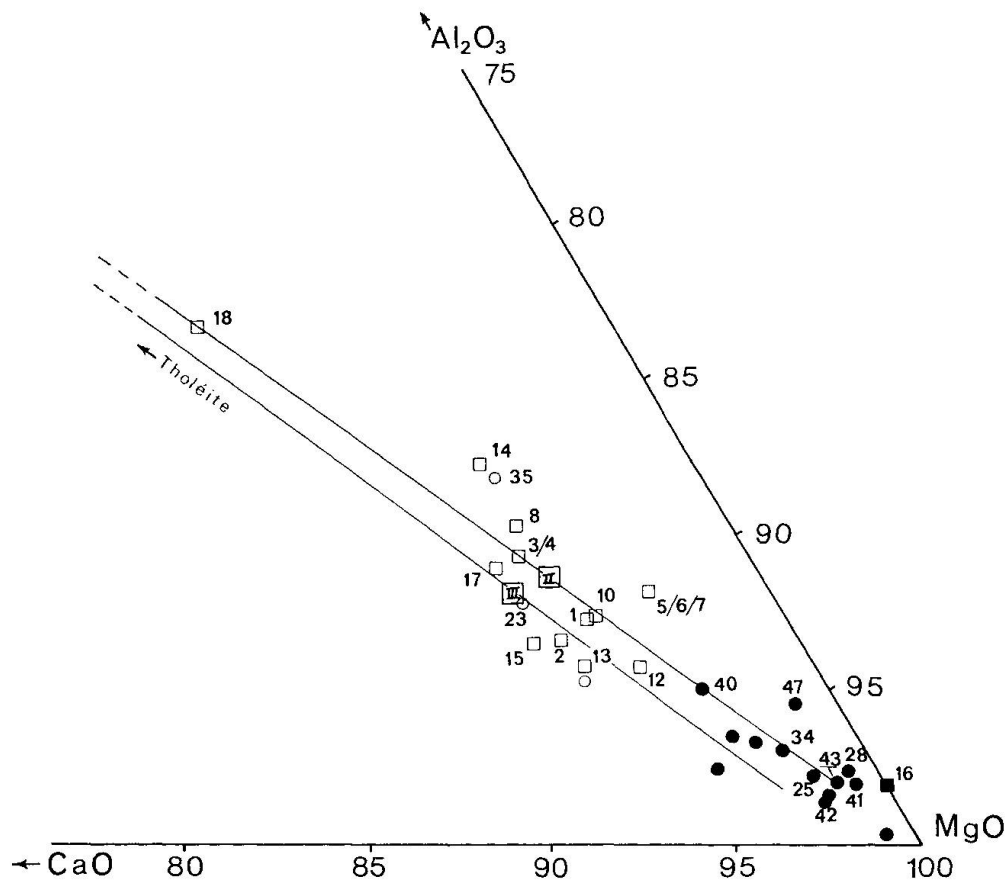


Fig. 2. Positions dans le diagramme Al_2O_3 - MgO - CaO des péridotites des chaînes alpines méditerranéennes. Petits carrés: péridotites du domaine occidental (jusqu'aux Alpes autrichiennes); petits cercles: péridotites du domaine oriental (Balkans, Anatolie). En blanc: lherzolites; en noir: harzburgites-dunités. Grands carrés: pyrolites II et III de RINGWOOD (1966) et GREEN et RINGWOOD (1967). Les droites portées sur le diagramme joignent les pyrolites à la tholéïte moyenne (NOCKOLDS, 1954). Les numéros correspondent à ceux de la figure 1.

Remarque: N'ont été retenues que les analyses contenant moins de 10% H_2O . D'autre part en raison de la grande hétérogénéité chimique due au rubanement, chaque point représente la moyenne des analyses de péridotites disponibles pour le massif considéré. Dans le cas des lherzolites, mieux connues de l'auteur, il est vraisemblable que les points figuratifs sont déplacés vers le pôle magnésien à cause de la prise en compte d'analyses faites dans les niveaux réfractaires de zones fortement différenciés (pyroxénites-harzburgites).

mécanismes qui ont été étudiés par ailleurs (NICOLAS et al., 1971; NICOLAS et al., 1972). Seules varient l'intensité des déformations et celle de la recristallisation par recuit qui leur succède. La structure en mosaïque typiquement granulitique de certaines péridotites de la zone d'Ivrée (14)² peut être considérée comme l'aboutissement de ce dernier processus, dont toutes les étapes s'observent dans différents massifs. La recristallisation oblitère alors toute trace des structures antérieures. Notons l'absence totale de structures de

²) Les chiffres entre parenthèses renvoient aux figures 1 et 2 ainsi qu'aux références bibliographiques qui les accompagnent.

cumulats dues à une sédimentation par gravité à l'intérieur d'une chambre magmatique dans les péridotites de ce groupe métamorphique (JACKSON, 1961). Dans l'état de nos connaissances, seuls échappent à cette règle deux petits massifs à tendance troctolitique (cumulats à olivine) affleurant au sein d'ophiolites et à proximité de gros massifs de lherzolites tectoniques en Apennin septentrional et en Ligurie (BEZZI et PICCARDO, 1971).

La principale différence entre ces massifs occidentaux touche la composition des minéraux, en particulier la nature du minéral accessoire ainsi que la nature des roches encaissantes. Ainsi les massifs de Beni Bouchera (1), de Ronda (2), des Pyrénées (3, 4), de Corse (5, 6), de Locana (11), de Baldissero (12), de la zone d'Ivrée (13, 14), de Totalp (17) et d'Ötztal (18), sont équilibrés dans le faciès lherzolite à spinelle³⁾ (O'HARA, 1967). La plupart sont en équilibre paragenétique avec des roches métamorphiques alumineuses du granulite faciès qui forment soit leur encaissant (13, 14), soit quelques contacts privilégiés (1, 2, 3, 12, 18). Les massifs de l'Apennin septentrional (8), de Ligurie (9) et de Lanzo (10) sont équilibrés dans le faciès lherzolite à feldspath, plus superficiel. Leur encaissant est constitué par les faciès magmatiques de l'association des ophiolites ou des roches sédimentaires métamorphisées dans le faciès schistes verts. Enfin, les péridotites de l'Alpe Arami (15) et de Styrie (19) équilibrés dans le faciès le plus profond des lherzolites à grenat présentent respectivement un contexte dans l'amphibolite et dans le granulite faciès.

L'identité des paragenèses, du chimisme et des structures des lherzolites de ces divers massifs invite à leur chercher une origine commune. Or, les uns, (Apennin septentrional, Ligurie, Corse, Lanzo, Locana) sont associés sur le terrain aux faciès magmatiques des ophiolites et appartiendraient au groupe de péridotites «ophiolitiques» de DEN TEX; les autres (Beni Bouchera, Ronda, Pyrénées, Baldissero, Val Sesia, zone d'Ivrée, Alpe Arami, Styrie) sont associés à des roches métamorphiques de haut degré, tombant dans le groupe des péridotites de «zone de racines». Nous sommes tentés de considérer l'association des uns avec des ophiolites comme fortuite et avançons plus loin une hypothèse à ce propos (p. 488).

III. LA PROVINCE ORIENTALE HARZBURGITIQUE

Cette province couvre les chaînes des Carpathes, des Balkans et s'étend jusqu'en Anatolie orientale. Comme l'avait déjà remarqué HIESSLEITNER (1952), les massifs qui la définissent se composent essentiellement de harz-

³⁾ De façon rigoureuse, ceci n'est pas vrai pour tous les massifs. Ainsi, Ronda présente une foliation soulignée par la cristallisation de feldspath et qui témoigne du passage dans le faciès lherzolite à feldspath au cours de la montée à l'état solide (NICOLAS et al., 1972).

burgites et de dunites avec de nombreux amas de chromite exploitable. Les lherzolites quand elles existent affleurent en masses subordonnées et représentent le plus souvent des cumulats de notre groupe magmatique. Leur association avec les autres termes magmatiques des complexes ophiolitiques, gabbros, dolérites, basaltes, y est générale.

Au point de vue structural, les différences sont aussi remarquables. Les études qui abordent cette question décrivent fréquemment des structures magmatiques dans les péridotites et surtout dans les gabbros qui semblent ainsi liés génétiquement aux péridotites (34, 35, 42, 43, 44, 45, 46, 47). Ces études insistent souvent sur la progressivité du passage des péridotites aux gabbros qui s'opère par l'intermédiaire de roches à structure de cumulats magmatiques: lherzolites feldspathiques et wehrlites (cumulats à olivine), pyroxénites (cumulats à pyroxènes), et troctolites (cumulats à olivine et à olivine + feldspath). Simultanément dans les mêmes massifs ou dans d'autres, on relève des descriptions de déformations à l'état solide (25, 28, 34, 36, 42, 43, 45).

JUTEAU (1970) montre à propos du complexe des nappes d'Antalya, qu'il existe deux ensembles au sein des roches grenues basiques et ultrabasiques: celui des harzburgites et dunites chromifères à structure métamorphique et celui des lherzolites feldspathiques, troctolites et gabbros à structure magmatique. Il semble que cette conclusion soit de portée plus générale dans cette province. Ainsi des descriptions de MOORES (1969) à propos du Vourinos, il ressort très clairement la coexistence de ces deux ensembles (harzburgites et dunites à structure métamorphique, lherzolites, pyroxénites et gabbros à structure magmatique). Une situation comparable pourrait prévaloir à Chypre où, à côté des dunites, harzburgites et gabbros à structure métamorphique du Troodos (35), le massif de Kellaki présente des lherzolites et gabbros à structure magmatique (LAPIERRE, comm. orale).

IV. INTERPRÉTATION

Le manteau océanique; relation avec les péridotites de Méditerranée orientale

La plupart des spécialistes admettent que le manteau normal possède une composition moyenne de lherzolite. A l'aplomb des dorsales océaniques la partie la plus superficielle subirait une fusion partielle conduisant à la formation de basaltes tholéitiques et de gabbros cristallisant dans des chambres magmatiques où ils peuvent subir une différenciation par gravité aboutissant au dépôt de péridotites au plancher de cette chambre; le reliquat de la fusion partielle consisterait en dunites et harzburgites (JACKSON, 1968; KUNO, 1969; CANN, 1970; BOUDIER, 1972). Par suite de l'expansion océanique le manteau

océanique superficiel serait ainsi composé de harzburgites et de dunites, reliquats de la fusion et surmontés par les produits de celle-ci: dunites, lherzolites feldspathiques, wehrlites, pyroxénites, gabbros⁴). Evidemment sous le manteau harzburgitique déprimé il faut s'attendre à trouver des lherzolites à structure métamorphique correspondant au manteau normal, comme en témoigne l'existence de tels nodules dans les laves de Hawaï (JACKSON, 1968; JACKSON et WRIGHT, 1970). Quant aux structures des roches océaniques, elles seraient soit métamorphiques dues aux déplacements à l'état solide dans le cas des harzburgites et dunites, soit magmatiques (cumulats) liées à la cristallisation dans des chambres sous crustales (lherzolites feldspathiques, wehrlites, pyroxénites et gabbros). Toutefois, la coupure structurale entre ces deux unités n'est pas toujours aussi franche, comme nous le montrerons dans une prochaine étude. Pour l'un des auteurs (A.N.) les dunites contenant des ségrégations importantes de chromite auraient une origine par accumulation magmatique. D'autre part ainsi qu'il apparaît dans plusieurs complexes (Vandenberg et Red Mountain, Californie; Canyon Mountain, Orégon), les roches d'accumulation magmatique (lherzolites, pyroxénites et gabbros) peuvent avoir subi des déformations plastiques à haute température, probablement peu après leur dépôt, qui oblitérent leur structure de cumulats au profit d'une structure métamorphique.

L'étude des roches ultrabasiques draguées le long des dorsales océaniques renforce cette interprétation. La majorité de ces roches consiste en harzburgites mais il existe aussi des lherzolites feldspathiques (DMITRIEV, 1969; AUMENTO, 1969; UDINTSEV, 1969; CHERNYSHEVA et RUDNIK, 1970; UDINTSEV et CHERNYSHEVA, 1965; ENGEL et FISHER, 1969; AUMENTO et LOUBAT, 1971). Les descriptions des structures, le plus souvent insuffisantes, à part l'étude d'AUMENTO et LOUBAT (1971) permettent de penser que les harzburgites possèdent une structure métamorphique et la plupart des lherzolites feldspathiques une structure de cumulat magmatique. Toutefois certaines lherzolites (TILLEY et LONG, 1967; BONATTI, HONNOREZ et FERRARA, 1970) possèdent des structures mylonitiques ou cataclastiques à rapprocher des structures ici appelées métamorphiques. S'agit-il alors de lherzolites métamorphiques du type «Méditerranée occidentale» ou de lherzolites à structure de cumulats, cristallisées dans les chambres magmatiques sous-jacentes aux dorsales et déformées ensuite à haute température? L'imprécision des descriptions structurales interdit toute réponse.

L'identité des péridotites océaniques avec celles de la province orientale de la Méditerranée est frappante. Dès 1959, BRUNN l'a clairement reconnue

⁴) La zone de passage pyroxénites-gabbros correspondrait à la discontinuité de Mohorovicic qui ainsi ne coïnciderait pas avec la discontinuité pétrographique majeure entre péridotites métamorphiques et magmatiques.

en assimilant les ophiolites de Méditerranée orientale aux formations constituant les dorsales. Plus récemment, GASS (1967) interprète les basaltes, gabbros et péridotites de Chypre comme des formations représentant la croûte et le manteau océanique. A l'échelle mondiale les péridotites alpino-types, lorsqu'elles sont partie intégrante des complexes ophiolitiques, s'apparentent principalement à ce type harzburgitique. Elles proviendraient du manteau océanique superficiel, comme résidu de la fusion partielle tholéitique.

Le manteau continental: relation avec les péridotites de Méditerranée occidentale

La singularité des lherzolites à structure métamorphique de la Méditerranée occidentale s'explique si l'on admet qu'elles représentent le manteau non différencié⁵). En raison de sa profondeur originelle, l'intrusion de celui-ci est problématique s'il correspond au manteau océanique sous-jacent aux harzburgites et dunites dont nous venons de parler. Une autre hypothèse consiste à considérer ce manteau normal comme le soubassement immédiat d'une croûte continentale, où, en l'absence de fusion partielle, le manteau superficiel pourrait conserver sa nature plus ancienne. Cette interprétation se nourrit des observations développées plus haut: les massifs de lherzolites de la Méditerranée occidentale sont fréquemment associés à des roches du granulite faciès, dont l'origine continentale est acquise, et moins généralement aux faciès magmatiques des ophiolites comme on s'y attendrait dans la première hypothèse; d'autre part l'étude structurale dénie une origine magmatique immédiate et souligne au contraire l'importance et la complexité des déformations à l'état solide, témoins d'une histoire tectonique dont les étapes anciennes ont eu lieu à haute température et haute pression (NICOLAS, 1969; NICOLAS et al., 1971).

On est alors conduit à rejeter l'interprétation de BONATTI (1971) qui admet la présence de manteau «continental» dans une zone stagnante sous-jacente aux dorsales. En effet, au travers de descriptions imprécises, il apparaît que ce manteau «continental» serait essentiellement de nature harzburgitique ce qui caractérise au contraire pour nous le manteau océanique.

Interprétation des provinces péridotitiques en termes de tectonique des plaques

La théorie de la tectonique globale implique que les sutures ophiolitiques représentent des zones de subduction ou d'obduction fossiles. La présence quasi générale de harzburgites métamorphiques comme termes ultrabasiques

⁵) Sur la figure 2, les points figuratifs s'alignent parallèlement aux droites qui joignent les pyrolites à la tholéite moyenne (NOCKOLDS, 1954). Cette relation est un indice supplémentaire pour considérer tholéites et harzburgites comme produits de la différenciation d'une lherzolite.

des complexes ophiolithiques s'explique si l'on considère que ces faciès représentent le manteau océanique supérieur et que les zones de subduction se développent soit en milieu océanique, soit à la limite entre deux plaques océanique et continentale. Leur activité et les déformations consécutives ont pour effet de favoriser l'intrusion de ces péridotites associées aux faciès magmatiques des complexes ophiolithiques jusqu'à la surface (COLEMAN, 1971). Par contre, les lherzolites métamorphiques, si elles représentent bien le manteau continental, ne peuvent être entraînées jusqu'à la surface, accompagnées ou non de copeaux de la base de la croûte continentale, qu'à l'occasion de télescopage sévère entre deux plaques continentales; leur association, peu fréquente, avec les faciès magmatiques des ophiolites pouvant s'expliquer par un mécanisme à deux temps: fermeture d'un bassin à croûte océanique avec une cicatrice ophiolitique, puis poursuite du mouvement avec intrusion, le long de ce plan plus faible, de fragments de manteau continental.

Cette interprétation prend un sens nouveau quand on l'examine à la lumière – encore bien diffuse – de la tectonique des plaques en Méditerranée. La plupart des auteurs admettent que la genèse des Alpes et du bassin méditerranéen actuel résulte du rapprochement de l'Europe et de l'Afrique. L'existence de la Pangea à l'orée du Mésozoïque, suggérée par les coïncidences géométriques et paléogéographiques des masses continentales (BULLARD et al., 1965) ainsi que par les études paléomagnétiques (CREER, 1970), permet d'étudier le mouvement général responsable de la situation actuelle. Ainsi, les marges orientales de l'Afrique et de l'Europe, initialement très éloignées, se sont rapprochées beaucoup plus que les marges occidentales de ces deux plaques.

En Méditerranée orientale ce mouvement a pour effet de refermer progressivement la Téthys paléozoïque. Il est probablement assuré par l'activité de plusieurs zones de subduction ou d'obduction dont certaines purent agir en milieu océanique loin des marges continentales (arcs insulaires). La probabilité de télescopage des plaques continentales Europe et Afrique reste faible. Au contraire, en Méditerranée occidentale, la proximité de l'axe de rotation de la plaque Afrique par rapport à l'Europe (axe situé en France pour SMITH, 1971), et l'éventualité de décrochements considérables (supérieurs à 500 km) (ZIJDERVELD et al., 1971) favorisent leur affrontement direct.

Nous allons examiner succinctement à cet égard la situation particulière de chacun des massifs de lherzolite de Méditerranée occidentale.

Les massifs d'Autriche (18 et 19) ainsi que le massif de Totalp en Suisse (17) sont insérés dans les nappes austro-alpines. Les charriages consécutifs à l'intrusion ne permettent pas de se prononcer sur les conditions de celle-ci. Les massifs autrichiens sont associés à des granulites et des éclogites (19) ou à des gneiss et amphibolites de l'amphibolite faciès et des éclogites (18); le massif de Totalp affleure dans un ensemble complexe où l'on note la présence d'ophiolites.

Les massifs de l'Alpe Arami (15) et Alpe Alai (16) jalonnent la ligne insubrienne dans un contexte de gneiss acides de l'amphibolite et du granulite faciès. Or, cette ligne est ici la suture majeure entre la plaque Europe et une plaque méridionale, la plaque Sud-Alpine. L'absence générale des faciès magmatiques de l'association ophiolitique dénie l'existence en cet endroit d'une croûte océanique entre ces deux plaques et invite à considérer la suture comme une zone de convergence de plaques continentales ou une faille transformante (LAUBSCHER, 1971) (fig. 3).

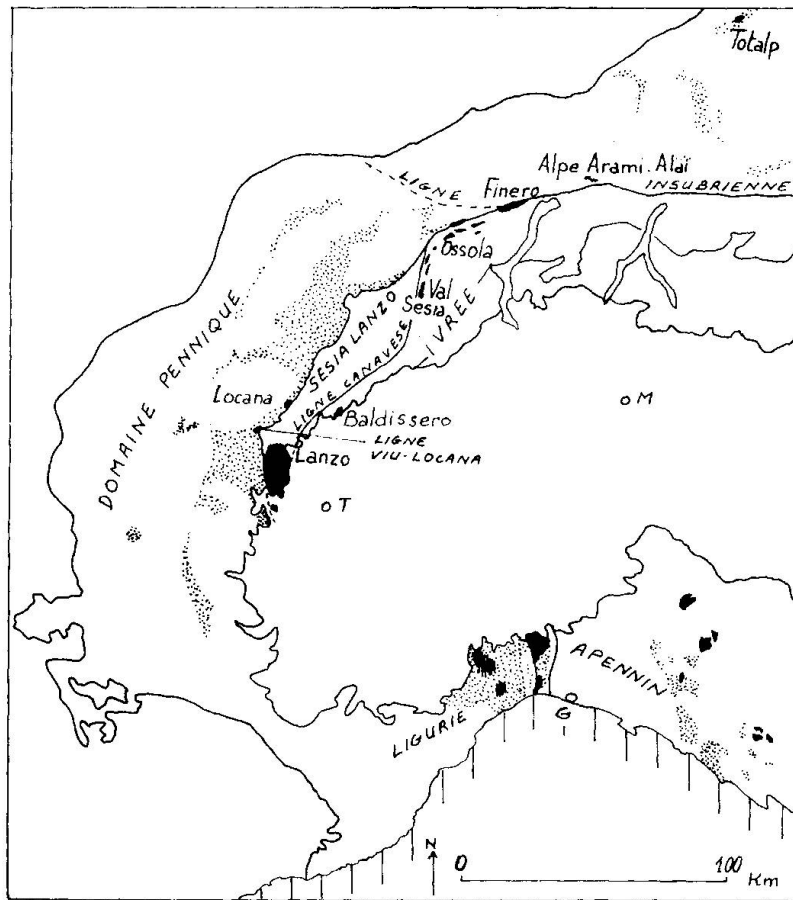


Fig. 3. Schéma structural des zones internes des Alpes occidentales. Légende: pointillés: ophiolites au sein du domaine pennique; noirs: massifs de lherzolites.

En allant vers le S.W., les massifs suivants affleurent le long de la ligne du Canavese, qui est peut-être un prolongement de la ligne insubrienne, ou près de celle-ci, dans la zone d'Ivrée. Cette zone représenterait la croûte continentale inférieure de la plaque Sud-Alpine. Certains massifs sont manifestement incorporés à cette croûte et possèdent des structures et des paragenèses en équilibre avec les granulites encaissantes (14). D'autres proviennent du manteau sous-jacent à cette croûte (LENSCH, 1968). Ils auraient été injectés le long

de la ligne du Canavese (10, 12, 13) comme en témoigne l'analyse de leur déformation plastique (NICOLAS et al., 1972). Ici encore cette ligne ne montre aucun faciès magmatiques des ophiolites. Le massif de Locana (11) affleure dans la ligne de Viù-Locana séparant les massifs cristallins internes de la zone de Sesia Lanzo. C'est une suture ophiolitique intensément déformée (NICOLAS, 1966) représentant probablement la vraie limite entre la plaque Europe et la plaque Sud-Alpine, si l'on rattache à cette dernière la zone de Sesia Lanzo (NICOLAS et al., 1972). ERNST (1971) situe au contraire la limite entre les deux plaques à l'Est de la zone de Sesia Lanzo, le long de la ligne du Canavese. Cette interprétation sera discutée dans une prochaine étude. Le massif de Lanzo (10), plus au Sud, se trouve à la jonction de cette suture de Viù Locana et du prolongement de la ligne du Canavese.

L'intrusion de tous ces massifs (10, 11, 12, 13) succèderait à la résorption du plancher océanique (bassin piémontais) séparant ici la plaque Europe de la plaque Sud Alpine. Elle résulterait d'une continuation du mouvement telle que les deux plaques continentales s'affrontent directement. L'écaillage qui en résulte se localise dans l'ancienne zone de subduction (Viù-Locana), entraînant l'intrusion du manteau continental sous-jacent à la plaque Sud Alpine (10, 11) dont l'association avec les faciès magmatiques ophiolitiques serait, dès lors, fortuite. La ligne du Canavese représente une seconde écaille, intérieure à la plaque Sud-Alpine et remontant, le long de sa lèvre orientale, la croûte profonde (14) et le manteau sous-jacent (12, 13).

Les massifs de Ligurie et de l'Apennin septentrional (8, 9) sont dans une situation structurale évoquant celle du massif de Lanzo dont ils sont pétrographiquement et structuralement très proches. Ils sont aussi associés aux faciès magmatiques des ophiolites. L'interprétation de leur situation n'est pas claire. Notons qu'ils affleurent dans une région qui pourrait être l'axe de rotation entre la plaque Europe et la plaque Sud Alpine (SMITH, 1971). La situation structurale des massifs de Corse (5, 6, 7) est encore plus obscure.

Les lherzolites des Pyrénées (3, 4) affleurent dans un domaine essentiellement continental; on n'y connaît pas de faciès magmatiques de l'association ophiolitique et, au contraire, des granulites soulignent leur contact (3). Leur intrusion peut résulter dans un premier temps de l'affrontement de deux blocs continentaux N. et S. pyrénéens, consécutif à l'ouverture du golfe de Gascogne. L'acheminement jusqu'à la surface a pu être assurée par un mécanisme explosif tel que l'envisage AVE LALLEMANT (1967).

Enfin, les massifs de l'arc bético-rifain (1, 2), associés à des granulites et dépourvus d'ophiolites magmatiques, affleurent dans un domaine dont la structure est très mal comprise. Cette région est celle de l'affrontement la plus directe des plaques Europe et Afrique avec la possibilité de rotation et surtout de translation relative considérable comme nous l'avons vu. L'existence actuelle d'un hiatus océanique (Mer d'Alboran) est expliquée par certains

auteurs comme due à l'«océanisation»⁶⁾ de masses continentales (T. DE BOOY et autres auteurs dans le même volume, 1969; LAUBSCHER, 1971). ANDRIEUX et al. (1971) admettent aussi l'origine continentale du bassin d'Alboran dont ils font une petite plaque indépendante. Sans intervenir dans l'interprétation de la structure de cette région, on peut noter qu'une fois de plus les lherzolites affleurent dans une zone d'affrontement de plaques continentales ou «océanisées» mais à soubassement lherzolitique.

V. CONCLUSIONS

Les roches ultrabasiques affleurant au sein des chaînes alpines du bassin méditerranéen appartiennent à deux associations:

1. Les massifs de dunite-harzburgite à structure métamorphique contenant de façon habituelle des gisements de chromite. Ils font partie intégrante des complexes ophiolitiques au même titre que des faciès moins déformés d'origine magmatique.
2. Les massifs de lherzolite à structure métamorphique communément associés à des granulites, parfois à des faciès magmatiques des ophiolites.

Les massifs de dunite-harzburgite affleurent depuis l'Autriche jusqu'en Anatolie, une province caractérisée par la subduction ou l'obduction de plaques océaniques. Les massifs de lherzolite affleurent depuis l'Autriche jusqu'au Rif. Ils semblent devoir leur intrusion à l'affrontement direct de plaques continentales.

Nous considérons que les massifs de dunite harzburgite de la province orientale sont des reliques du manteau océanique méditerranéen et les faciès magmatiques associés (cumulats de nature diverse, dolérites et pillow lavas) représentent la croûte océanique. Cette conclusion s'appuie sur une revue des types de roches basiques et ultrabasiques draguées dans les fonds océaniques.

Nous considérons d'autre part, que les massifs de lherzolite de la province occidentale représentent le manteau supérieur relativement peu différencié sous-jacent aux continents et que les granulites de leur association proviennent de la base de la croûte continentale. Cette conception s'appuie aussi sur la nature lherzolitique et granulitique des nodules provenant de la ceinture de basaltes tertiaires qui suit l'arc alpin d'Espagne jusqu'en Tchécoslovaquie. Il serait toutefois imprudent de chercher à restreindre l'origine des lherzolites

⁶⁾ Cette notion introduite par l'étude de cette partie de la Méditerranée correspond à un mécanisme générateur de milieu océanique autre que celui de l'expansion le long des dorsales. Elle impliquerait, par absence de fusion basaltique extensive, que le manteau supérieur sous-jacent soit lherzolitique et non harzburgitique comme dans l'autre cas.

au seul manteau continental non différencié. Des lherzolites à structure métamorphique sont remontées sous forme de nodules dans les basaltes de Hawaï, au milieu du Pacifique et affleurent en quantité subordonnée au sein des massifs essentiellement harzburgitiques sur les deux bordures du continent nord-américain (CHURCH et STEVENS, 1971; MEDARIS, 1972). Dans ces divers cas, on peut envisager que ces lherzolites métamorphiques représentent le manteau océanique sous-jacent à la couche harzburgitique et moins différencié. La présence de harzburgites métamorphiques nous semble au contraire un témoignage sûr d'une origine océanique.

Remerciement. Les auteurs expriment leur gratitude à T. P. Thayer et E. H. Bailey qui ont bien voulu revoir le manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

BSMP = Bulletin suisse de Minéralogie et Pétrographie

- ANDRIEUX J., FONTBOTE J. M. et MATTAUER M. (1971): Sur un modèle explicatif de l'arc de Gibraltar. *Earth Plan. Sci. Letters*, 12, p. 191-198.
- AUMENTO F. (1969): Geology of the Mid-Atlantic ridge at 45° N. Symposium "Petrology of igneous and metamorphic rocks from the ocean floor". Royal. Soc. London.
- AUMENTO F. and LOUBAT H. (1971): The Mid-Atlantic ridge near 45° N XVI. Serpentinized ultramafic intrusions. *Can. J. Earth Sc.* 8/6, p. 631-663.
- BASSAGET J. P. (1966): Contribution à l'étude géologique de la région du Sud de Menderes entre Fethiye et Sandras dag (Province de Mugla, Turquie). Thèse: Grenoble.
- BEZZI A. et PICCARDO G. B. (1971): Structural features of the Ligurian ophiolites: petrological evidence for the "oceanic" floor of the Northern Apennine geosyncline; a contribution to the problem of the alpine-type gabbro-peridotite associations. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 10, p. 53-63.
- BONATTI E. (1971): Ancient continental mantle beneath oceanic ridges. *J. Geophys. Res.*, 76/17, p. 3825-3831.
- BONATTI E., HONNOREZ J. and FERRARA G. (1970): Equatorial Mid-Atlantic ridge: petrological and Sr isotopic evidence for an alpine type rock assemblage. *Earth Plan. Sci. letters*, 9, p. 247-256.
- BOUDIER F. et NICOLAS A. (1972): Fusion partielle gabbroïque dans la péridotite de Lanzo (Alpes piémontaises). *BSMP* 52 (1), p. 39-56.
- BRUNN J. H. (1956): Contribution à l'étude géologique du Pinde Septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale. *Ann. geol. pays helléniques*, t. VII, 308 p.
- (1959): La dorsale médio-atlantique et les épanchements ophiolitiques. *C.R. Soc. géol. France*, 8, p. 234-236.
- BULLARD E. C., EVERETT J. E. and SMITH A. G. (1965): The fit of the continents around the Atlantic. *Phil. Trans. Roy. Soc. London.* A/258, p. 41-51.
- CANN J. R. (1970): New Model for the structure of the ocean Crust. *Nature*, 226, p. 928-930.
- CHERNYSHEVA V. I. and RUDNIK G. B. (1970): Associational status of mafic extrusive and intrusive and ultramafic rocks from rift zones of Mid-Indian ocean ridges. *Doklady Akad. Nauk. USSR*, 194/2, p. 426-429 (trad.).

- CHURCH W. R. and STEVENS R. K. (1971): Early Paleozoic ophiolite complexes of the Newfoundland Appalachians as mantle-oceanic crust sequences. *J. Geophys. Res.* 76, p. 1460–1466.
- COGULU E. (1967): Etude pétrographique de la région de Mihaliccik (Turquie). *BSMP* 47/2, p. 683–803.
- COLEMAN R. G. (1971): Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges. *J. geoph. research*, 76, p. 1212–1222.
- CREER K. M. (1970): A review of palaeomagnetism. *Earth Science Review*, 6, p. 369–466.
- DAL VESCO E. (1953): Genesi e metamorfosi della rocce basiche e ultrabasiche nell'ambiente mesozonale dell'orogene penninico. *BSMP* 33/2, p. 177–478.
- DE BOOY T. (1969): Repeated disappearance of continental crust around the western Mediterranean since the oligocene: a review. Symposium on the Problem of oceanization in the western Mediterranean: *Nederlandsch Geol. Mij. Genootschap. Geol. Ser.*, 26, p. 79–104.
- DEN TEX E. (1969): Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history. *Tectonophysics*, 7, p. 457–488.
- DICKEY J. S. (1970): Partial fusion products in alpine-type peridotites: Serrania de la Ronda and other examples. *Min. Soc. America, Sp. paper*, 3, p. 33–49.
- DMITRIEV L. V. (1969): On the origin of ultrabasic rocks from the Indian Ocean ridge rift zones (traduction). *Geochimie*, 10, p. 1179–1186.
- DUBERTRET C. (1953): Géologie des roches vertes du N.O. de la Syrie et du Hatay (Turquie). *Notes et Mém. sur le Moyen Orient*, VI, 179 p.
- ENGEL L. G. and FISHER R. L. (1969): Lherzolite, anorthosite, gabbro and basalt dredged from the Mid-Indian Ocean ridge. *Science*, 166, p. 1136–1138.
- ENGIN T. and HIRST D. M. (1970): Serpentinisation of harzburgites from the Alpine peridotite belt of Southwest Turkey. *Chemical geology*, 6, p. 281–295.
- ERNST W. G. (1971): Metamorphic zonations on presumably subducted lithospheric plates from Japan, California and the Alps. *Contr. Mineral. Petrol.*, 34, p. 43–59.
- ETIENNE F. (1971): La lherzolite rubanée de Baldissero Canavese (Piémont, Italie). Thèse, Nancy, 157 p.
- FRANCONI A. (1967): Etude géologique des ophiolites et schistes lustrés de la Casale di Sestri entre Ponte-Leccia et Sermano (Corse). Thèse Grenoble, 175 p.
- GALLI M. (1959): Sulla presunta «Norite di Mattarana». *Ann. Mus. Civ. Stor. nat. G. Doria*, 99, p. 1–10.
- (1963): Studi petrografici: sulla formazione ofiolitica de l'Apennino Ligure. *Period. Miner.*, 2–3, p. 575–623.
- GASS I. G. (1967): The ultrabasic volcanic assemblage of the Troodos massif, Cyprus. *Ultramafic and related Rocks*, Wyllie ed., J. Wiley New-York, p. 121–134.
- GRCEV K. (1964): Application of petrological methods. *Méthode de prospection de la chromite*, O.C.D.E. Paris 1964.
- GREEN D. H. and RINGWOOD A. E. (1967): The stability fields of aluminous pyroxene peridotite and garnet peridotite and their relevance in upper mantle structure. *Earth Planet. Sci. Lett.* 3, p. 151–160.
- GREEN D. H. (1967): High temperature peridotite intrusions. *Ultramafic and related rocks*, Wyllie ed., I. Wiley Inc., p. 212–221.
- GUILLOU J. J. et PRIMEL L. (1964): Etude géologique et métallogénique du Cap Corse. Thèse, Paris.
- HAMMER W. (1926): Eklogit und Peridotit in den mittleren Ötztaler Alpen. *Jb. geol. Bundesanst. Wien*, LXXVI, p. 97–123.

- HIESSELEITNER G. (1952): Serpentin und Chromerzgeologie der Balkanhalbinsel und eines Teiles von Kleinasien. *Jb. geol. Bundesanst. Wien*, 1/2.
- JACKSON E. D. (1961): Primary textures and Mineral associations in the Ultramafic Zone of the Stillwater Complex Montana. *Geol. Survey, Prof. pap.* 358, 106 p.
- (1968): The character of the Lower Crust and Upper Mantle beneath the Hawaiian Islands. *Congrès géol. intern.* 23^e Sess., 1, p. 135–150.
- (1971): The origin of ultramafic rocks by cumulus processes. *Fortschr. Miner.*, 48, p. 128–174.
- JACKSON E. D. and WRIGHT T. L. (1970): Xenoliths in the Honolulu volcanic Series, Hawaï. *J. Petrology*, 11/2, p. 405–430.
- JACKSON E. D. and THAYER T. P. (1972): Some criteria for distinguishing between stratiform, concentric and alpine peridotite-gabbro complexes. *Congrès géol. intern.* 24^e session Montréal (sous presse).
- JUTEAU T. (1970): Pétrogenèse des nappes d'Antalya (Taurus lycien oriental, Turquie). *Sc. de la Terre, Nancy*, XV, 3.
- KARAMATA S. (1968): Zonality in Contact metamorphic rocks around the ultramafic mass of Brezovica (Serbia, Yougoslavia). *Congrès géol. Intern.* 23^e Sess., 1, p. 197–208.
- KORNPROBST J. (1971): Contribution à l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif. Thèse, Paris, 376 p.
- KUNO H. (1967): Volcanological and petrological evidences regarding the nature of the upper mantle. *The Earth's mantle*, Gaskell éd., Academic Press London-New York.
- LAPIERRE H. (1966): Etude pétrographique et structurale du massif pluto-volcanique de Kellaki (Chypre). Thèse, Nancy, 111 p.
- LAUBSCHER H. P. (1969): Mountain building. *Tectonophysics*, 7, p. 551–563.
- (1971): The large-scale kinematics of the western Alps and the northern Apennines and its palinspastic implications. *Amer. J. Sci.*, 271, p. 193–226.
- LENSCH G. (1968): Die Ultramafitite der Zone von Ivrea und ihre geologische Interpretation. *BSMP* 48/1, p. 91–102.
- (1971): Die Ultramafitite der Zone von Ivrea. *Ann. Univ. Saraviensis*, 9, p. 5–146.
- LOSCHI-GHITTONI A. G. (1964): Le rocce ultrafemiche della valle Strona (Novara). *Rendiconti Soc. Min. Ital.*, 14/20, p. 153–176.
- MAISONNEUVE J. (1960): Etude géologique du Sud de la Corse, région comprise entre Ajaccio et Ponte Vecchio. *Bull. carte géol. France*, 260/LVII.
- MAITRE D. (1967): Contribution à l'étude géologique de la bordure Sud du Massif du Menderes dans la région située à l'Est de Koycegiz (Province de Mugla). Thèse Grenoble, 79 p.
- MEDARIS L. G., JR. (1972): High pressure peridotites in southwestern Oregon. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 83, p. 41–58.
- MÖCKEL J. R. (1969): Structural petrology of the garnet peridotite of Alpe Arami (Ticino, Switzerland). *Leidse Geol. Meded.*, 42, p. 61–130.
- MONCHOUX P. (1970): Les lherzolites pyrénéennes. Thèse, Toulouse, N° 419, 180 p.
- MOORES E. M. (1969): Petrology and Structure of the Vourinos ophiolitic complex of Northern Greece. *Geol. Soc. America, spec. pap.* 118, 73 p.
- NICOLAS A. (1966): Etude pétrochimique des roches vertes et de leurs minéraux entre Dora Maira et Grand Paradis (Alpes Piémontaises). Thèse, Nantes, 178 p.
- (1969): Une vue unitaire concernant l'origine des massifs ultrabasiques des Alpes occidentales internes. *C. r. Accad. Sci. Paris*, 269, p. 1831–1834.
- NICOLAS A., BOUCHEZ J. L., BOUDIER F. et MERCIER J. C. (1971): Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some european lherzolite *Tectonophysics*. 12, p. 55–86.

- NICOLAS A., BOUCHEZ J. L. et BOUDIER F. (1972): Interprétation cinématique des déformations plastiques dans le massif de lherzolites de Lanzo (Alpes piémontaises) – comparaison avec d'autres massifs. *Tectonophysics*, 14/2, p. 143–171.
- NOCKOLDS S. R. (1954): Average chemical compositions of some igneous rocks. *Bull. geol. Soc. Amer.*, 65, p. 1007.
- O'HARA M. J. (1967): Mineral facies in ultrabasic rocks. *Ultramafic and Related rocks*. Wyllie éd., J. Wiley New-York, p. 7–18.
- PARROT J. F. (1967): Le cortège ophiolitique du Pinde septentrional (Grèce). Thèse, Paris, 114 p.
- PERRIN Y. (1970): Etude préliminaire sur les associations minérales des ophiolites des nappes d'Antalya (Taurus lycien et occidental, Turquie). Thèse, Nancy, 109 p.
- PETERS T.J. (1963): Mineralogie und Petrographie des Totalpserpentins bei Davos. *BSMP* 43/2, p. 531–680.
- RINGWOOD A. E. (1966): Mineralogy of the Mantle. *Advances in Earth Science*. Hurley éd., M.I.T. Press, Cambridge, Mass., p. 357–399.
- SMITH A. G. (1971): Alpine deformation and the oceanic areas of the Tethys, Mediterranean and Atlantic. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82, p. 2039–2070.
- THAYER T. P. (1960): Some critical differences between alpine-type and stratiform peridotite-gabbro complexes. *Int. geol. Congr. 21th Sess. Copenhagen*, 13, p. 247–259.
- (1971): Authigenic, polygenic and allogenic ultramafic and gabbroic rocks as hosts for magmatic ore deposits. *Sp. publ. N° 3 geol. Soc. Australia*, p. 239–251.
- TILLEY L. E., LONG J. V. P. (1967): The porphyroclast Minerals of the peridotite-mylonites of St-Paul's Rocks (Atlantic). *Geol. Mag.*, 104/1, p. 46–48.
- UDINTSEV G. B., CHERNYSHEVA V. I. (1965): Rock samples from the upper mantle of the Indian Ocean rift zone. *Doklady Akad. Nauk USSR*, 165/5, p. 1147–1150 (trad.).
- UDINTSEV G. B. (1969): The tectonics of the Mid-Indian ridge and the petrography of the solid rocks of its rift zones. Symposium "Petrology of igneous and metamorphic rocks from the ocean floor". Royal. Soc. London.
- VOGT P. (1962): Geologisch-petrographische Untersuchungen im Peridotitstock von Finero. *BSMP* 42, p. 59–125.
- ZACHOS K. (1964): Chromite exploration in Greece. *Méthodes de prospection de la chromite*, O.C.D.E. Paris, p. 55–59.
- ZIJDERVELD J. D. A., HAZEU G. J. A., NARDIN M., VAN DER VOO R. (1970): Shear in the Tethys and the Permian paleomagnetism in the Southern Alps, including new results. *Tectonophysics*, 10, p. 639–661.