

Datation Sm-Nd du métamorphisme écolitique en Corse alpine : un argument pour l'existence au Crétacé supérieur d'une zone de subduction active localisée sous le bloc corso-sarde*

Didier LAHONDÈRE ⁽¹⁾
Catherine GUERROT ⁽¹⁾

Sm-Nd dating of Alpine eclogitic metamorphism in Corsica: evidence for Late Cretaceous subduction beneath the Corsican-Sardinian block

Géologie de la France, n°3, 1997, pp. 3-11, 7 fig.

Mots-clés : Datation, Sm-Nd, Eclogite, Crétacé supérieur, Zone subduction, Métamorphisme de haute pression-basse température, Corse, France.

Key words: Dating, Sm-Nd, Eclogite, Upper Cretaceous, Subduction zones, High pressure-low temperature metamorphism, Corsica, France.

Résumé

L'unité de Morteda-Farinole (Corse alpine) renferme des écoligites à glaucophane dérivant de protolites variés : gabbros et basaltes ophiolitiques, grani-toïdes, sédiments. L'âge du métamor-phisme écolitique était jusqu'à ce jour inconnu. Cette note est relative à la datation de ce métamorphisme par la méthode Sm-Nd sur roche totale et phases minérales séparées. L'échantillon choisi (VP427) est une méta-arkose à quartz, jadéite, ferro-glaucophane, ferro-chloritoïde, paragonite et grenat provenant de l'érosion d'un granite calco-alcalin. L'âge obtenu, $83,8 \pm 4,9$ Ma (MSWD = 0,54), permet, pour la première fois en Corse, d'identifier un événement tectono-métamorphique éo-alpin. Cette nouvelle donnée conforte un scénario géodynamique impliquant, dès le Crétacé supérieur, une subduction des portions nord-occidentales de l'océan liguro-piémontais sous le bloc corso-surde.

Abridged English version

Alpine Corsica corresponds to tectonically stacked units of basic, ultrabasic and sedimentary rocks (Lahondère and Lahondère, 1988). The basic and ultrabasic rocks are relics of the Ligurian-Piedmont ocean floor, and the sedimentary rocks of the end-Jurassic to Early-Middle Cretaceous supra-ophiolitic cover (Caron et al., 1979; Lahondère and Caby, 1989). Intercalated gneiss bears witness to the involve-ment of crustal blocks in the orogenic process. Most units record a metamorphic evolution reaching lawsonite blueschist or glaucophane eclogite equilibrium (Ohnenstetter et al., 1976; Kienast, 1983; Péquignot et al., 1984; Lahondère, 1996).

The eclogitic rocks belong to a single unit of serpentized peridotite with eclogitic lenses derived from ancient granite, gabbro, basalt, radiolarite and sedimentary rocks (Lahondère, 1996; Lahondère and Lahondère, 1988). The unit corresponds to a paleodomain transitional between oceanic and conti-

mental conditions, probably represented today by the basement slices associated with the inner units. The eclogitic metasediments in the Golo valley overlie metabasalt and metaquartzite, locally manganese bearing (ancient radiolarites); they are calcareous schists with limestone intervals and two gneissic interbeds. The dated sample (VP427) is from the upper gneissic interbed where the rock is composed of quartz, jadeite, ferro-glaucophane/crossite, paragonite, chloritoid, almandine garnet (chlorite, titanite, apatite and zircon). Major- and trace-element analysis has shown that this sample is derived from an ancient arkose composed of material eroded from calc-alkaline granite. The zircon typology is compatible with such an origin. The lower interbed is composed of meta-conglomerate with an arkosic matrix.

The analysed mineral phases were garnet, amphibole and clinopyroxene. A whole-rock powder was also analysed. The $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ratio is close to 0.65 for the garnet and between 0.14 and 0.20 for the whole-rock, glaucophane and clino-

* Manuscrit reçu le 12 juin 1997, accepté le 15 septembre 1997.

(1) BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 02, France.

pyroxène. These data define an isochron at 83.8 ± 4.9 Ma (MSWD = 0.54). This age, the first obtained for the Alpine eclogites of Corsica, shows that subduction occurred along the innermost part of the European margin during the Late Cretaceous.

A recently proposed paleogeographic reconstruction (Lahondère, 1996) considers that the gneissic rocks of the inner units originally belonged to the same microblock, separated from the rest of the European margin by a small ophiolitic basin (present Balagne nappe). This configuration for the European paleo-margin makes it possible to propose an original geodynamic scenario that takes into consideration the structure of both the inner and outer domains. Alpine compression began in the Late Cretaceous in response to the northward movement of the African and Adriatic plates; this led to the development of NW-dipping subduction beneath the southeast margin of the continental microblock which led to the progressive disappearance of the Ligurian-Piedmont ocean. The sinistral strike-slip nature of this subduction, suggested by the narrowness of the mountain belt and the orientation of eclogitic and post-eclogitic microstructures, reflects the obliqueness between the subduction zone and the drift direction of the Adriatic plate. The localization of Eoalpine deformation within the microblock would explain the preservation of the Balagne domain and its ophiolitic substratum, where the accumulation of detrital sediments, rich in crystalline and sedimentary clasts derived from western Corsica, continued until the Eocene. The closure of this domain and deformation of the outermost parts of the margin did not occur until the Middle Eocene, in response to the collision between the Corsican and Apulian continental masses.

Introduction

Au cours du Crétacé supérieur et jusqu'à la fin du Paléogène, la structuration orogénique des Alpes occidentales et centrales a été contrôlée par le fonctionnement de plusieurs zones de subduction dans lesquelles des domaines paléogéographiques continentaux (Austro-alpin,

Briançonnais, Europe) et océaniques (Liguro-piémontais, Valaisan) ont été enfouis et métamorphisés. Des âges crétacés sont établis pour des éclogites austro-alpines (Thöni et Jagoutz, 1993 ; Thöni et Miller, 1996) et pour des éclogites de la zone Sesia (Oberhänsli *et al.*, 1985 ; Stöckhert *et al.*, 1986 ; Duchêne *et al.*, 1997), malgré la mise en évidence dans ces dernières de problèmes liés à des excès d'argon radiogénique dans les micas phengitiques (Ruffet *et al.*, 1995 ; Inger *et al.*, 1996 ; Reddy *et al.*, 1996). Dans les unités issues de la résorption du domaine océanique liguro-piémontais, des âges éocène inférieur ont été obtenus pour les méta-ophiolites éclogitiques du Mont Viso (^{40}Ar - ^{39}Ar , Monié et Philippot, 1989 ; Lu-HF, Duchêne *et al.*, 1997) et de la zone Zermatt-Saas (Sm-Nd, Bowtell *et al.*, 1994).

La Corse alpine constitue le prolongement méridional de la chaîne des Alpes occidentales et ligures. Elle comprend un ensemble interne constitué principalement d'unités océaniques liguro-piémontaises et un ensemble externe à valeur de Briançonnais *s.l.* (Amaudric du Chaffaut *et al.*, 1984 ; Durand-Delga, 1984 ; Stampfli, 1993) comprenant des unités issues de la paléomarge de la Corse cristalline. Des ophiolites très peu ou non métamorphiques, directement charriées sur la couverture éocène de la Corse autochtone, constituent une nappe en situation très externe (Nappe de Balagne). Dans la région de Corte et en Balagne, la structuration des unités externes est d'âge éocène supérieur à oligocène inférieur (Bézert et Caby, 1988 ; Egal et Caron, 1989). Plus au nord, les âges ^{40}Ar - ^{39}Ar obtenus à partir des gneiss à Phg-Crs/Mrb⁽¹⁾ du Tenda (fig. 1) ne sont pas supérieurs à 45 Ma (Monié *et al.*, 1996). Ceci s'accorde avec l'âge du métamorphisme HP-BT dans le domaine briançonnais *s.s.* (Michard, 1977). Dans les unités liguro-piémontaises internes de Corse, les données géo-

chronologiques sont peu nombreuses et l'âge du métamorphisme éclogitique restait inconnu. Cette note est relative à la datation par isochrone Sm-Nd d'une roche éclogitique de l'unité de Morteda-Farinole. L'âge obtenu conforte l'existence au Crétacé supérieur d'une zone de subduction dans laquelle des formations continentales d'affinités européennes *s.l.* étaient impliquées.

Contexte géologique

La partie orientale (interne) de la Corse alpine est constituée par un empilement d'unités tectoniques à matériel ultrabasique, basique et sédimentaire (Lahondère et Lahondère, 1988). Les modèles géodynamiques associent la structuration de cet édifice à l'obduction des ophiolites liguro-piémontaises sur la marge continentale corse (Mattauer et Proust, 1976 ; Caron, 1977 ; Warburton, 1983 ; Jolivet *et al.*, 1990) ou à la subduction de ces mêmes ophiolites sous le bloc corso-sarde (Abbate et Sagri, 1982 ; Durand-Delga, 1984 ; Lahondère, 1996). Les roches ultrabasiques et basiques (péridotites serpentinisées, gabbros, basaltes) sont des témoins du plancher océanique liguro-piémontais. Les roches sédimentaires (quartzites, calcaires, calc-schistes, schistes) représentent des reliques de la couverture supra-ophiolitique d'âge jurassique supérieur à crétacé inférieur-moyen (?) (Caron *et al.*, 1979 ; Lahondère et Caby, 1989). Les formations gneissiques associées à certaines de ces unités ou insérées dans l'édifice témoignent de l'implication de masses continentales dans les processus orogéniques. Toutes les unités orientales ont enregistré une évolution métamorphique atteignant les conditions de stabilité des schistes bleus à lawsonite ou celles des éclogites à glaucophane (Ohnenstetter *et al.*, 1976 ; Kienast, 1983 ; Péquignot *et al.*, 1984 ; Lahondère, 1996).

Les éclogites alpines corses sont regroupées dans l'unité de Morteda-Farinole (fig. 1), constituée de péridotites serpentinisées et de corps plus ou moins lenticulaires de roches éclogitiques dérivant de protolites variés (granitoïdes, gabbros, basaltes, sédiments) (Lahondère, 1988 ; Lahondère et Lahondère, 1988 ; Lahondère et Caby, 1989). Au SSW de

(1) Les abréviations utilisées pour les différentes espèces minérales sont les suivantes :

Ab : albite. Ap : apatite. Cal : calcite. Chd : chori-toïde. Crs : crossite. Ep : épidote. Fgl : ferro-glaucophane. Gln : glaucophane. Grt : grenat. Hem : hématite. Jad : jadéite. Lws : lawsonite. Mrb : magnésio-riébeckite. Omph : omphacite. Pg : paragonite. Phg : phengite. Qtz : quartz. Zrn : zircon.

Bastia, dans la vallée du Golo, les conditions Pmin.-T du métamorphisme éclogitique ont été estimées à 13 Kbar et $455 \pm 35^\circ\text{C}$ (Lahondère, 1996). Dans ce secteur, les sédiments éclogitisés reposent sur des metabasites massives dérivant d'anciens basaltes et sur des métaquartzites, parfois manganésifères où l'on reconnaît d'anciennes radiolarites. Toutes ces roches sont affectées par une intense déformation symmétamorphe se traduisant par le développement d'une foliation blastomylonitique à $\text{Omp} + \text{Grt} + \text{Lws} + \text{Gln}$ dans les metabasites et à $\text{Qtz} + \text{Grt} + \text{Lws} + \text{Phg} + \text{Gln}$ dans les métaquartzites non manganésifères. Les métasédiments correspondent principalement à des calcschistes à horizons calcaires dans lesquels deux barres de gneiss sont intercalées. La barre inférieure, d'aspect noduleux, correspond à un gneiss micaschisteux à Qtz , Ab , Phg , Gln/Crs , Ep ($\pm \text{Jad}$, Grt , Cal , Ap , Hem , Zrn) dérivant d'une ancienne arkose conglomératique (Lahondère et Caby, 1989). Dans les galets acides, l'assemblage métamorphique est à $\text{Qtz} + \text{Jad} + \text{Phg}$. La barre supérieure, plus massive, est constituée de gneiss rubanés à amandes basiques effilées. Son origine détritique est plus discutable mais elle contient des boules équantes à Qtz , Jad , Phg et Gln , qui évoquent d'anciens galets acides. Le sommet de cette barre supérieure est, en outre, souligné par des métasédiments quartzitiques à zircons détritiques ovoïdes.

L'échantillon VP427 provient de cette barre gneissique supérieure où il constitue un corps lenticulaire d'environ un mètre de long et quinze centimètres d'épaisseur. La roche, à grain moyen, renferme une association minéralogique à quartz, clinopyroxène, amphibole bleue, mica blanc, chloritoïde, grenat (\pm chlorite, opaques, titanite, apatite, zircon) (fig. 2). Le clinopyroxène constitue des gerbes plurimillimétriques : il s'agit de jadéite plus ou moins riche en molécule d'aegyrine ($0,60 < X_{\text{Jad}} < 0,85$). L'amphibole bleue constitue de longs prismes automorphes qui transpercent les plages de jadéite. Il s'agit de ferroglaucophane et de crossite au sens de Leake (1978) ($0,45 < \text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+} < 0,75$; $0,20 < \text{Fe}^{3+}/\text{R}^{3+} < 0,35$). Le chloritoïde est un ferro-chloritoïde très pauvre en manganèse et en magnésium ($X_{\text{Fe}} > 0,89$). Le grenat, généralement de grande taille, inclut parfois du chloritoïde et de l'amphibole bleue. Il s'agit d'un almandin (60-75 %) plus ou moins enrichi en

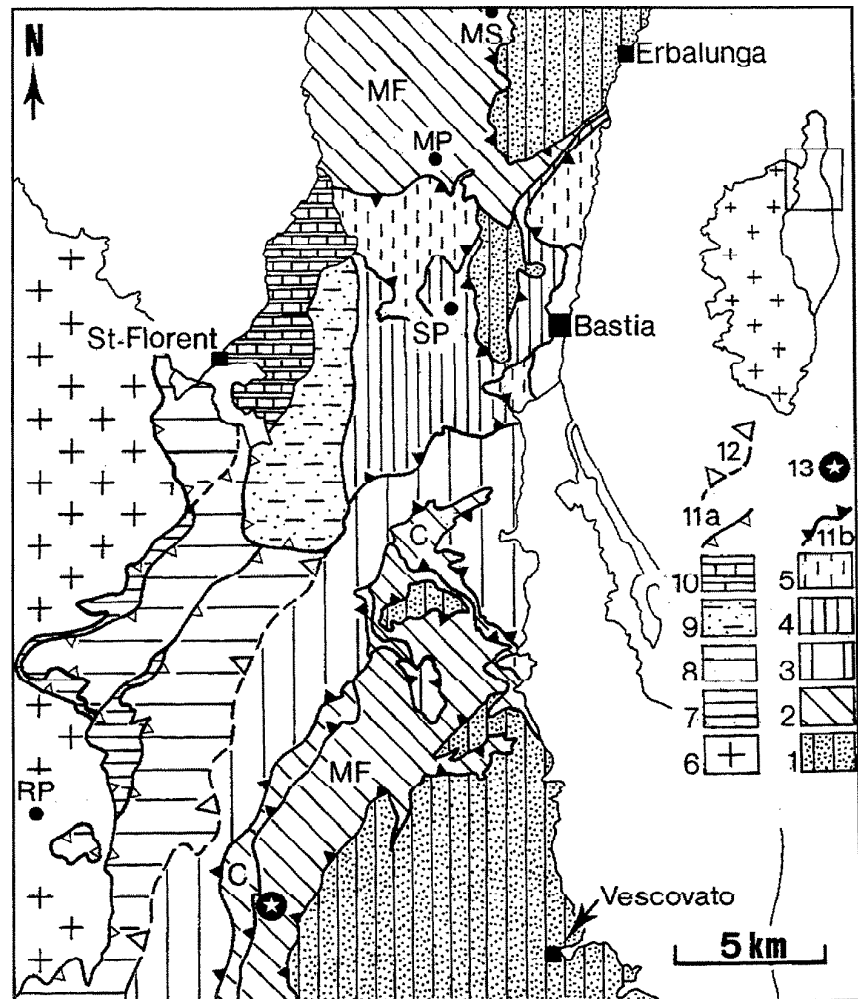


Fig. 1.- Carte géologique simplifiée et localisation de l'échantillon daté.

RP : Monte Reghia di Pozzo ; SP : Serra di Pigno ; MS : Monte Stello ; MP : Monte Pinatelle.
 Domaine oriental : 1 : unités océaniques inférieures (Castagniccia s.l.) ; 2 : unités composites de Morteda-Farinole (MF) et de Campitello (C) ; 3 : unités océaniques intermédiaires ; 4 : unités continentales du massif du Pigno-Olivaccio ; 5 : unités océaniques supérieures.
 Domaine occidental : 6 : massif granitique du Tenda ; 7 et 8 : formations continentales (7) et océaniques (8) charriées sur le massif du Tenda ; 9 : allochtone supra-schistes lustrés du Nebbio ; 10 : molasses calcaires miocènes de Saint-Florent.
 11 : principaux contacts chevauchants (a : domaine externe, b : domaine interne) ; 12 : limite entre les domaines interne et externe ; 13 : localisation de l'échantillon VP427.

Fig. 1.- Geological sketch map showing the locality of the dated sample.

RP : Monte Reghia di Pozzo ; SP : Serra di Pigno ; MS : Monte Stello ; MP : Monte Pinatelle.
 Eastern domain : 1 : lower oceanic units (Castagniccia s.l.) ; 2 : Morteda-Farinole (MF) and Campitello (C) composite units ; 3 : intermediate oceanic units ; 4 : continental units of the Pigno-Olivaccio Massif ; 5 : upper oceanic units.
 Western domain : 6 : Tenda Massif (granite) ; 7 and 8 : continental (7) and oceanic (8) units obducted onto the Tenda Massif ; 9 : allochthonous uppermost schists of the Nebbio nappe ; 10 : Saint-Florent Miocene limestone molasse ;
 11 : main thrusts (a : outer domain ; b : inner domain) ; 12 : boundary between the outer and inner domains ; 13 : location of sample VP427.

grossulaire (13-20 %) et en spessartine (7-20 %) mais toujours pauvre en molécules de pyrope ($< 4\%$). Les micas blancs sont des paragonites présentant une substitution Na-K très faible ($X_{\text{Na}} > 0,90$). Des ferro-chlorites cristallisent d'une façon tardive autour d'oxydes de fer.

Une typologie des zircons et une analyse des éléments majeurs et des traces ont été réalisées pour préciser la nature initiale de cette roche. Les zircons sont abondants, très colorés et fréquemment dissymétriques. Une large partie d'entre

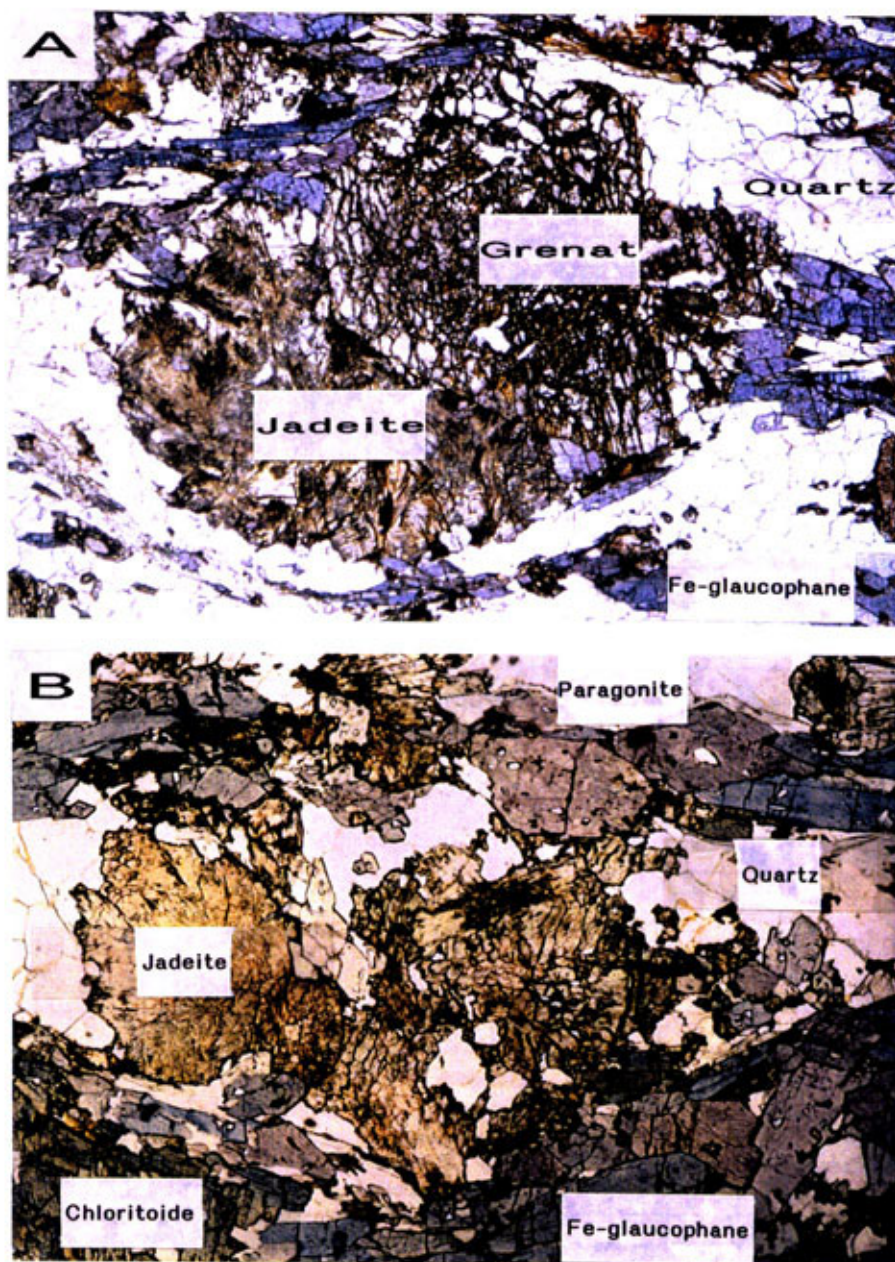


Fig. 2.- Aspects microtexturaux de la méta-arkose VP427.

A : assemblage à grenat + jadéite + ferro-glaucophane + quartz (X 25) ; B : assemblage à jadéite + ferro-glaucophane + chloritoïde + paragonite + quartz (x 50).

Fig. 2.- Microtexture of the meta-arkose VP427.

A: garnet + jadeite + ferroglaucophane + quartz (X 25); B: jadeite + ferroglaucophane + chloritoid + paragonite + quartz (X 50).

eux (> 80 %) a pu être indexée. L'indice moyen calculé, I.A = 530 et I.T = 434, semble placer cette population dans la zone 4 du diagramme typologique de Pupin (1980), c'est-à-dire dans le domaine des granites calco-alcalins banals ou des granites calco-alcalins magnésio-potassiques (fig. 3). Les données analytiques relatives aux Terres Rares et aux autres éléments en traces montrent cependant des teneurs en Terres Rares très

faibles (Σ REE < 25 ppm), ce qui n'est jamais le cas dans les granitoïdes de Corse occidentale (Σ REE > 100 ppm) (Cocherie *et al.*, 1994). Par rapport à ces mêmes granitoïdes, l'appauvrissement de VP427 en Rb, Th, K, La et Ce est particulièrement net (fig. 4). Cet appauvrissement a pour effet de diminuer le rapport La/Yb jusqu'à une valeur très basse, non caractéristique des granites calco-alcalins (2,71). La faible teneur en K de VP427

suggère par ailleurs que la biotite magmatique a été détruite et que ses produits d'altération ont été, du moins pro parte, lessivés et extraits de la roche dans le cadre d'un processus d'érosion et de sédimentation. L'appauvrissement généralisé en éléments en traces est vraisemblablement contemporain de ce processus. L'échantillon VP427 peut donc correspondre à une ancienne arkose issue de l'érosion d'un granite calco-alcalin.

Données Sm-Nd

Les phases minérales analysées sont le grenat, la ferroglaucophane et la jadéite. Une analyse sur la poudre de la roche totale a également été réalisée. Les fractions de minéraux séparés ont été obtenues par utilisation de liqueurs denses et par séparation magnétique. La purification finale a été effectuée à la main, sous une loupe binoculaire, pour obtenir des fractions de pureté supérieure à 99 % (élimination des minéraux altérés et des grains mixtes).

Après dissolution totale des échantillons, le Sm et le Nd ont été séparés par utilisation de deux colonnes échangeuses d'ions. La première colonne permet la séparation globale des REE, et la seconde la séparation du Sm et du Nd selon la technique mise au point par Richard *et al.* (1976). Les teneurs en Sm et Nd ont été déterminées sur un spectromètre de masse Finnigan® MAT 261 et la composition isotopique du Nd sur un spectromètre de masse Finnigan® MAT 262. Les rapports $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ sont normalisés au rapport $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ puis ajustés à la valeur certifiée du standard La Jolla = 0,511860. La valeur moyenne obtenue durant cette étude sur 12 déterminations du standard La Jolla est de $0,511828 \pm 13$ (2σ). L'erreur sur le rapport $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ est de 0,5 %, l'erreur sur le rapport $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ est l'erreur analytique (2σ). La constante de désintégration du samarium est $\lambda^{147}\text{Sm} = 6,54 \cdot 10^{-12} \text{ an}^{-1}$. Le calcul d'âge a été effectué en utilisant le programme ISOPLOT (Ludwig, 1991), toutes les erreurs étant à 2σ .

Les données analytiques ont été reportées sur un diagramme $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (fig. 5). Le rapport $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ est proche de 0,65 dans le

grenat et compris entre 0,14 et 0,20 pour la roche totale, la ferroglaucophane et la jadéite. Ces données définissent une isochrone à $83,8 \pm 4,9$ Ma (MSWD = 0,54). L'étude pétrologique de l'échantillon VP427 montre que chaque phase minérale incluse dans le grenat a la même composition chimique que son équivalent dans la matrice. Dans un tel cas de figure et dans l'hypothèse d'une pollution de la fraction de grenat par des micro-inclusions d'amphibole bleue et de chloritoïde, celles-ci n'auraient pour effet qu'un glissement du point représentatif du grenat le long de l'isochrone et non pas un basculement de cette dernière.

Les différentes phases minéralogiques de VP427 coexistent pour des conditions P-T proches de 20 Kbar et 480°C (Lahondère *et al.*, en prép.). Cette température est du même ordre que celle estimée pour les écloğites environnantes à partir des couples omphacite-grenat ($455 \pm 35^\circ\text{C}$). Au cours de leur exhumation, ces écloğites n'ont jamais été portées à des températures supérieures à 500°C (Lahondère, 1996). La température minimale permettant la diffusion du samarium et du néodyme dans les grenats étant nettement plus élevée, de l'ordre de 600°C pour K. Mezger *et al.* (1992), l'âge Sm-Nd obtenu à partir de la méta-arkose VP427 correspond de toutes évidences à celui de l'assemblage minéralogique observé.

Discussion

L'unité écloğitique de Morteda-Farinole, dans laquelle coexistent des métagranitoïdes et des méta-ophiolites, est interprétée comme une ancienne zone de transition entre un bloc continental et l'océan liguro-piémontais (Lahondère, 1996). Cette interprétation est confortée par la présence de quartzites détritiques et d'arkoses conglomératiques interstratifiées dans les sédiments supra-ophiolitiques. L'âge obtenu à partir de l'échantillon VP427 indique qu'au Crétacé supérieur, cette zone de transition était déjà enfouie à plus de cinquante kilomètres de profondeur, probablement dans une zone de subduction, et écloğitisée.

Deux principaux modèles géodynamiques ont été proposés pour expliquer la structuration de la Corse alpine. Le pre-

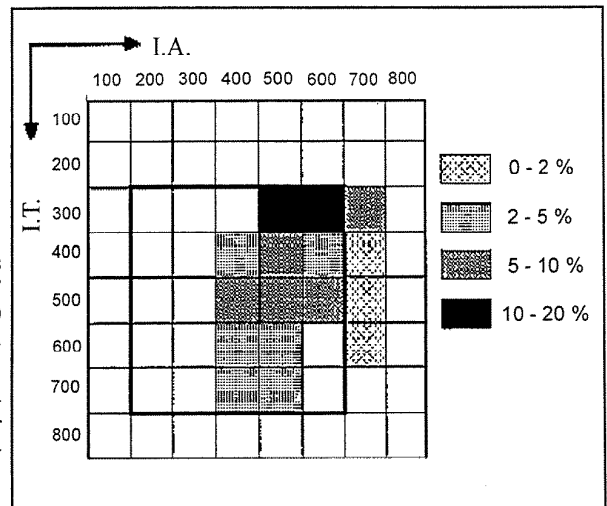


Fig. 3.- Typologie des zircons de la méta-arkose VP427 d'après J.P. Pupin (1980) (détermination: P. Jézéquel, BRGM).

Fig. 3.- Typology of the meta-arkose (VP427) zircons after J.P. Pupin (1980) — determination by P. Jézéquel, BRGM.

SiO ₂	71.95	Elément en gt		Elément en gt	
Al ₂ O ₃	10.65	Y	9.1	Er	1.1
Fe ₂ O ₃ (T)	7	La	3.8	Tm	0.2
MaO	0.07	Ce	9.3	Yb	1.4
MgO	1.8	Pr	1.1	Lu	0.2
CaO	0.9	Nd	4.7	Zr	258
Na ₂ O	5.9	Sm	1.2	Nb	10.3
K ₂ O	0.63	Eu	0.3	Hf	8.2
TiO ₂	0.28	Gd	1.5	Th	3.6
P ₂ O ₅	0.05	Tb	0.3	Ta	3.1
PF	0.78	Dy	1.7	U	3.3
Total :	100.01	Ho	0.4	Rb	13

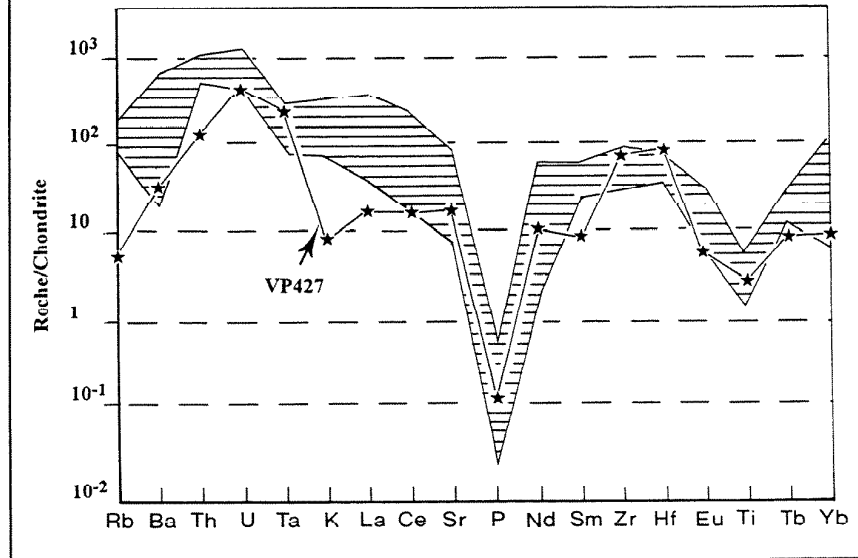


Fig. 4. - Concentrations des éléments majeurs (% d'oxydes) et des éléments en traces (g/t) de la méta-arkose VP427 (tableaux) et spectre des éléments en traces correspondant. Le domaine hachuré représente le champ des signatures géochimiques des granites calco-alkalins de Corse occidentale d'après A. Cocherie *et al.* (1994).

Fig. 4. - Major-element (% oxides) and trace-element (g/t) concentrations (table) for the meta-arkose VP427 and corresponding trace-element spectra. The hatched area represents the geochemical signature field of western Corsica calc-alkaline granite (after A. Cocherie *et al.*, 1994).

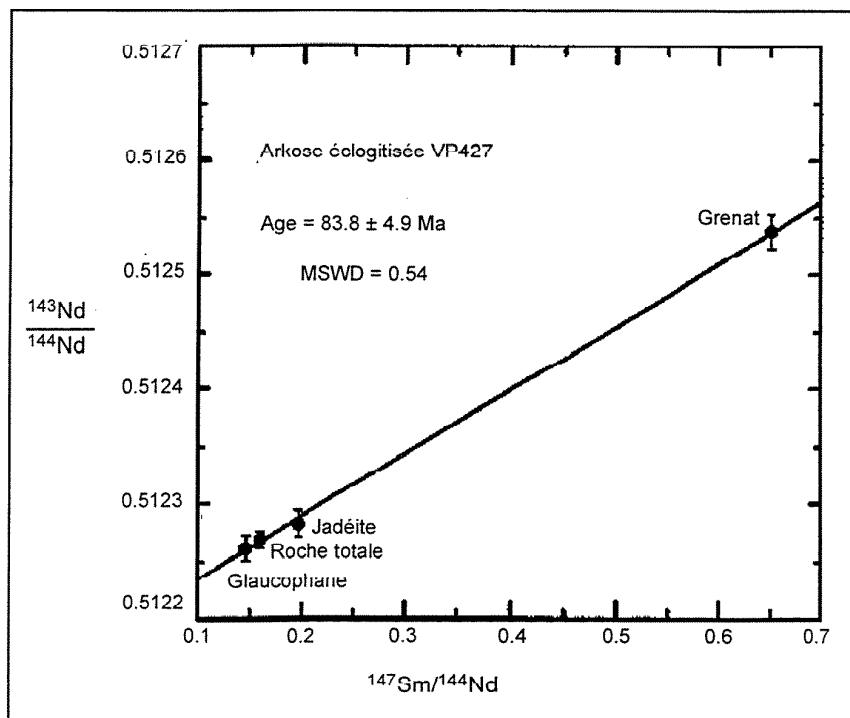


Fig. 5.- Diagramme isochrone $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs. $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ pour la roche totale, le grenat, la jadéite et le ferro-glaucophane (haut) et données Sm-Nd correspondantes (bas)

Fig. 5.- Whole-rock, garnet, jadeite and ferroglaucophane $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs. $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ isochron diagram (top) and corresponding Sm-Nd data (bottom).

mier, apparenté au modèle des Alpes occidentales, interprète l'édifice tectonique corse comme le résultat du charriage des formations océaniques liguro-piémontaises sur la marge continentale européenne. Dans ce modèle, les écailles de métagranitoïdes et d'orthogneiss associées aux unités internes (Monte Pinatelle, Pigno-Olivaccio, Campitello) sont interprétées comme des lames arrachées aux portions les plus internes de la marge européenne et charriées en direction des zones externes (Mattauer *et al.*, 1981 ; Jolivet *et al.*, 1990). L'implication de nappes "sud-alpines" est proposée pour expliquer la cristallisation d'éclogites dans la croûte européenne chevauchée. L'existence de telles nappes n'est cependant pas établie en Corse. Le second modèle met en jeu une subduction précoce des ophiolites liguro-piémontaises sous le bloc corso-sarde et décrit la transversale Corse-Apennins en terme de prisme d'accrétion tectonique (Abbate et Sagri, 1982 ; Principi et Treves, 1984 ; Durand-Delga, 1984 ; Carmignani *et al.*, 1995) ; il conduit également à rechercher du côté européen l'origine des lames de socle associées aux unités internes corses.

Plusieurs points supportent ce dernier modèle, parmi lesquels :

1) La structuration des séries flyschoides des Apennins ligures est associée depuis le Crétacé supérieur à des chevauchements à vergence apulienne (Treves, 1984). Cette évolution s'accorde avec le fonctionnement d'une zone de subduction à pendage opposé.

2) La dynamique des grands prismes d'accrétion tectonique est susceptible de favoriser l'exhumation des roches de haute pression-basse température (HP-BT) dans leurs parties les plus internes (Cowan et Silling, 1978 ; Platt, 1986). On peut donc envisager que les unités HP-BT de Corse représentent les parties internes du prisme des Apennins. L'âge éoalpin obtenu à partir de l'échantillon VP427 s'accorde avec une telle signification.

3) En Calabre, les formations océaniques affectées par un métamorphisme HP-BT sont charriées sur les unités de l'Apennin calcaire méridional et sont chevauchées par les unités cristallines calabraises d'affinités européennes (Bouillin, 1984 ; Knott, 1987 ; Wallis *et*

al., 1993). Tous les chevauchements sont à vergence orientale, c'est-à-dire en direction des zones externes de la chaîne (Dietrich, 1988).

4) Dans le Nord-Est de la Sardaigne, la tectonique transpressive senestre d'âge Oligocène-Aquitainien est associée à la collision entre la Sardaigne et les Apennins, après subduction du domaine océanique liguro-piémontais sous le bloc sarde (Carmignani *et al.*, 1995).

5) Le volcanisme calco-alcalin oligomiocène connu en Sardaigne et sur la marge occidentale de la Corse est en relation avec la subduction d'un fragment de croûte océanique de la Téthys ligure sous la croûte européenne (Réhault, 1981 ; Principi et Treves, 1984 ; Rossi *et al.*, soumis).

6) Les travaux de tomographie profonde de Spakman (1986) soulignent l'existence, sous l'Espagne et la Méditerranée occidentale, d'une ancienne zone de subduction à pendage nord dans laquelle des portions de la Téthys ligure seraient impliquées (voir aussi Wortel *et al.*, 1997).

Ces deux grands modèles sont donc contradictoires en ce qui concerne le pendage de la subduction éoalpine - vers le sud-est dans le premier cas et vers le nord-ouest dans le second - mais s'accordent sur l'origine européenne des lames de socle. Une telle origine est également confortée par l'existence, dans l'unité du Pigno-Olivaccio, d'un complexe basique-ultrabasique identique, à l'empreinte alpine près, à celui qui constitue plus à l'ouest le coeur du massif autochtone du Tenda (Rossi *et al.*, 1992) (fig. 1).

Une reconstitution paléogéographique récemment proposée (Lahondère, 1996) suggère que les formations gneissiques associées aux unités internes corses aient appartenu à l'origine à un même "microbloc" (Pigno-Farinole, fig. 6) séparé de la marge européenne par un petit domaine océanique correspondant aujourd'hui à la nappe de Balagne. Cette configuration de la paléomarge européenne permet d'expliquer l'abondance des éléments détritiques dans la couverture des ophiolites de Balagne mais aussi la présence d'arkoses conglomératiques et de calcaires marmoréens à éléments de socle dans certaines unités métamor-

phiques internes (Morteda-Farinole, Campitello). Une telle configuration permet en outre de développer un scénario géodynamique rendant compte des caractères respectivement précoces et tardifs de la structuration des domaines interne et externe. Dans ce scénario, l'histoire compressive alpine débute au Crétacé supérieur, en réponse à la remontée vers le Nord de l'Afrique et de l'Adriatique (Dewey *et al.*, 1989), et se traduit par le développement d'une zone de subduction à pendage nord-ouest, localisée le long du rebord sud-oriental du microbloc de Pigno-Farinole (fig. 7). Le caractère décrochant-senestre de cette subduction, suggéré notamment par l'étrécissement de la chaîne et par l'orientation des linéations d'allongement éclogitiques et post-éclogitiques, souligne l'obliquité entre cette zone de subduction et la direction de dérive de la plaque apulienne. La localisation des déformations éo-alpines au niveau du microbloc de Pigno-Farinole permet d'expliquer la préservation du bassin ophiolitique de Balagne, plus externe, dans lequel s'accumulent jusqu'à l'Eocène des sédiments détritiques riches en fragments cristallins et sédimentaires empruntés à la Corse occidentale (Durand-Delga, 1984). La fermeture de ce bassin et la déformation des portions les plus externes de la marge n'est intervenue que plus tard, à partir de l'Eocène supérieur, en réponse au rapprochement final des masses continentales corse et apulienne.

Conclusion

La datation obtenue en Corse alpine à partir de la méta-arkose VP427 montre que le métamorphisme éclogitique y est d'âge Crétacé supérieur. C'est la première fois qu'un événement tectono-métamorphique éo-alpin est ainsi caractérisé en Corse. Deux sutures majeures peuvent ainsi être différenciées. La première, la plus interne, témoigne des phases de structuration précoces de l'édifice ; elle correspond aujourd'hui à l'unité éclogitique de Morteda-Farinole. La seconde, structurée à partir de la fin de l'Eocène supérieur, souligne le contact entre les unités externes à l'est et la Corse autochtone à l'ouest.

Cette nouvelle donnée conforte un scénario géodynamique préalablement proposé (Lahondère, 1996) dans lequel la

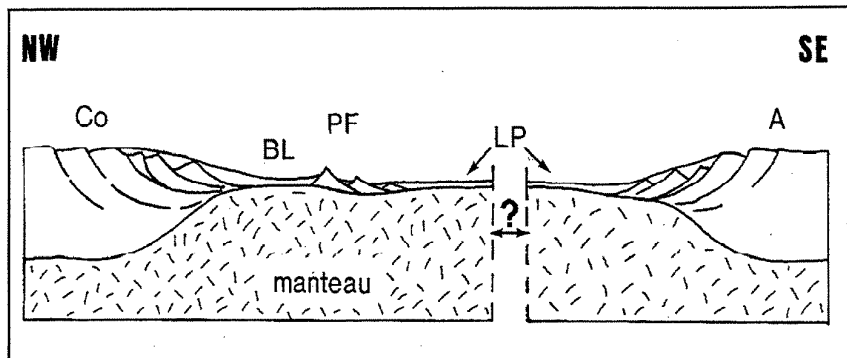


Fig. 6.- Représentation schématique et théorique de la transversale Corse-Apulie au début du Crétacé. A : Apulie ; BL : bassin ophiolitique de Balagne ; Co : Corse ; LP : bassin ophiolitique liguro-piémontais ; PF : microbloc de Pigno-Farinole.

Fig. 6.- Schematic reconstruction of the Corsica Apulia section at the beginning of the Cretaceous. A: Apulia; BL: Balagne ophiolitic basin; Co: Corsica; LP: Ligurian-Piedmont ophiolitic basin; PF: Pigno-Farinole microblock.

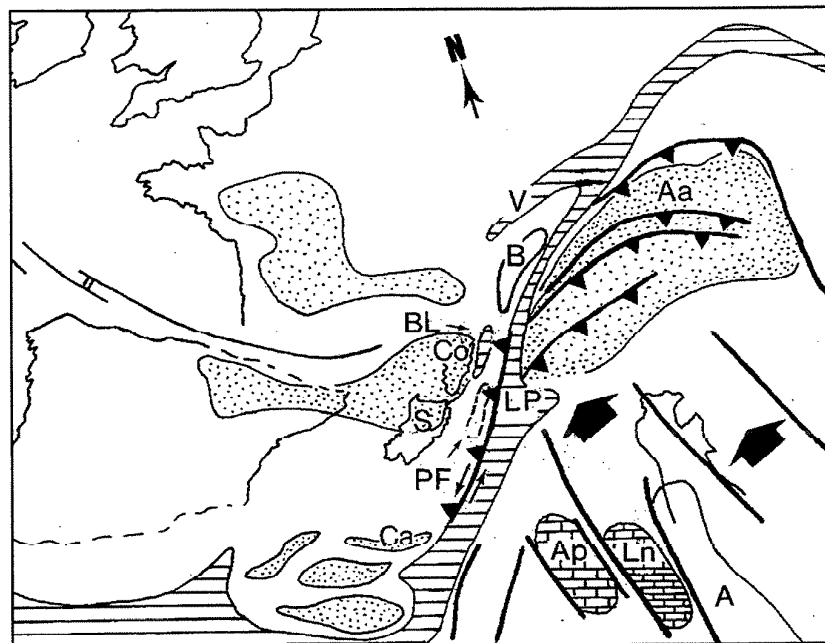


Fig. 7.- Carte paléogéographique et géodynamique du système alpin de Méditerranée occidentale au Crétacé supérieur (modifiée d'après Dercourt *et al.*, 1993). Le bassin de Balagne était très certainement raccordé à l'océan liguro-piémontais. Les zones émergées sont représentées en pointillé.

A : Apulie ; Aa : domaine austro-alpin ; Ap : plate-forme carbonatée des Apennins ; B : Briançonnais ; BL : bassin ophiolitique de Balagne ; Ca : Calabre ; Co : Corse ; Ln : fosse de Lagonero ; LP : bassin ophiolitique liguro-piémontais ; PF : microbloc de Pigno-Farinole ; S : Sardaigne ; V : fosse valaisane.

Fig. 7.- Paleogeographic and geodynamic map of the Late Cretaceous western Mediterranean Alpine system (after J. Dercourt *et al.*, 1993). The Balagne basin was almost certainly connected to the Ligurian-Piedmont ocean. Areas of exposed land are dotted.

A: Apulia; Aa: Austro-Alpine domain; Ap: Apennine carbonate shelf; B: Briançon area; BL: Balagne ophiolitic basin; Ca: Calabre; Co: Corsica; Ln: Lagonero trough; LP: Ligurian-Piedmont ophiolitic basin; PF: Pigno-Farinole microblock; S: Sardinia; V: Valais trough.

bordure sud-orientale du bloc corso-sarde correspond dès le Crétacé supérieur à une limite tectonique majeure dans laquelle les portions occidentales du bassin ophiolitique liguro-piémontais sont subductées. A la même époque, dans les

Alpes occidentales et centrales, la marge austro-alpine et les parties les plus orientales de l'océan liguro-piémontais sont engagées dans un ensemble de subductions pentées vers l'est ou le sud-est (Froitzheim *et al.*, 1996). A la fin du

Crétacé, la résorption de l'océan liguro-piémontais et la dérive du promontoire adriatique vers le NNW auraient donc été accommodées par le fonctionnement de plusieurs zones de subduction à pendages opposés dans lesquelles de vastes domaines d'affinités austro-alpines, sud-européennes et liguro-piémontaises étaient simultanément enfouis et éclogitisés (fig. 7). Une telle géométrie de la

chaîne alpine conduit à rechercher la trace d'un système décrochant senestre majeur entre les Alpes occidentales et la Calabre (Durand-Delga, 1981 ; Maury et Ricou, 1983 ; Bouillin, 1984).

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme de la Carte Géologique de la France. MM. Michel Durand-Delga et

Thierry Baudin ont contribué par leur lecture critique à améliorer la qualité du manuscrit. M. Jean-Robert Kienast a participé à l'analyse pétrologique de l'échantillon daté. M. Pierre Jézéquel (BRGM) a réalisé l'indexation typologique des zircons ainsi que la séparation des phases minérales. Ils trouveront ici l'expression de toute notre gratitude.

Références

- Abbate E., Sagri M. (1982) - Le unità torbiditiche cretacee dell'Appennino settentrionale e di margini continentali della Tetice. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **24**, 115-126.
- Amaudric du Chaffaut S., Bourbon M., De Graciansky P.C., Lemoine M. (1984) - Du Briançonnais à la Corse : modifications longitudinales d'une marge continentale passive de la Téthys ligure. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **28**, 269-283.
- Bézert P., Caby R. (1988) - Sur l'âge post-Bartonian des événements tectono-métamorphiques alpins en bordure orientale de la Corse cristalline (N. de Corte). *Bull. Soc. géol. Fr.*, **4**, 965-971.
- Bouillin J.P. (1984) - Nouvelle interprétation de la liaison Apennin-Maghrébides en Calabre ; conséquences sur la paléogéographie téthysienne entre Gibraltar et les Alpes. *Rev. Géol. Dynam. Géogr. Phys.*, **25**, (5), 321-338.
- Bowtell S.A., Cliff R.A., Barnicoat C. (1994) - Sm-Nd isotopic evidence on the age of eclogitization in the Zermatt-Saas ophiolite. *J. metamorphic Geol.*, **12**, 187-196.
- Carnignani L., Decandia F.A., Disperati L., Fantozzi P.L., Lazzarotto A., Liotta D., Oggiano G. (1995) - Relationships between the tertiary structural evolution of the Sardinia-Corsica-Provençal domain and the northern Apennines. *Terra Nova*, **7**, 128-137.
- Caron J.M. (1977) - Lithostratigraphie et tectonique des schistes lustrés dans les Alpes cotiennes septentrionales et en Corse orientale. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Strasbourg, n°48, 326 p.
- Caron J.M., Delcey R., Scius H., Eissen J.P., Fraipont P., Mawhin B., Reuber I. (1979) - Répartition cartographique des principaux types de séries dans les Schistes lustrés de Corse. *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **288**, 1363-1366.
- Cocherie A., Rossi P., Fouillac A.M., Vidal P. (1994) - Crust and mantle contributions to granite genesis: an example from the variscan batholith of Corsica, France, studied by trace-element and Nd-Sr-O-isotope systematics. *Chem. Geol.*, **115**, 173-211.
- Cowan D.S., Silling R.M. (1978) - A dynamic scaled model of accretion at trenches and its implications for the tectonic evolution of subduction complexes. *J. Geophys. Res.*, **83**, 5389-5396.
- Dercourt J., Ricou L.E., Vrielynck B. (éds) (1993) - Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps. Gauthier-Villars, Paris, 307 p.
- Dewey J.F., Helman M.L., Turco E., Hutton D.H.W., Knott S.D. (1989) - Kinematics of the western Mediterranean. In: *Alpine Tectonics* (edited by Coward M.P., Dietrich D. and Park G.), *Spec. Publ. geol. Soc. Lond.*, **45**, 265-283.
- Dietrich D. (1988) - Sense of overthrust shear in the Alpine nappes of Calabria (Southern Italy). *J. Struct. geol.*, **10** (4), 373-381.
- Duchêne S., Blichert-Toft J., Luais B., Telouk P., Lardeaux J.M., Albarede F. (1997) - The Lu-Hf dating of garnets and the ages of the Alpine high-pressure metamorphism. *Nature*, **387**, 586-589.
- Durand-Delga M. (1981) - Ouvertures océaniques de Méditerranée occidentale et dislocation des chaînes alpines. *Sedimentary basins of Mediterranean margins*, F.C. Wezel (Editor), 417-431.
- Durand-Delga M. (1984) - Principaux traits de la Corse alpine et corrélations avec les Alpes ligures. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **28**, 285-329.
- Egal E., Caron J.M. (1989) - Structures de l'Eocène en Corse. *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **309**, 1431-1436.
- Froitzheim N., Schmid S.M., Frey M. (1996) - Mesozoic paleogeography and the timing of eclogite-facies metamorphism in the Alps: a working hypothesis. *Eclogae geol. Helv.*, **89/1**, 81-110.
- Inger S., Ramsbotham W., Cliff R.A., Rex D.C. (1996) - Metamorphic evolution of the Sesia-Lanzo Zone, Western Alps: time constraints from multi-system geochronology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **126**, 152-168.
- Jolivet L., Dubois R., Fournier M., Goffé B., Michard A., Jourdan C. (1990) - Ductile extension in alpine Corsica. *Geology*, **18**, 1007-1010.
- Kienast J.R. (1983) - Le métamorphisme de haute pression et basse température (éclogites et schistes bleus) : données nouvelles sur la pétrologie des roches de la croûte océanique subductée et des sédiments associés. Thèse d'Etat, Univ. Paris VI, 474 p.
- Knott S.D. (1987) - The Liguride complex of southern Italy: a Cretaceous to Paleogene accretionary wedge. *Tectonophysics*, **142**, 217-226.
- Lahondère D. (1988) - Le métamorphisme éclogitique dans les orthogneiss et les metabasites ophiolitiques de la région de Farinole (Corse). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **4**, 579-585.
- Lahondère D. (1996) - Les schistes bleus et les éclogites à lawsonite des unités continentales et océaniques de la Corse alpine. Document du BRGM, n°240, 285 p.
- Lahondère D., Caby R. (1989) - Les méta-conglomérats polygéniques des "schistes lustrés" de la vallée du Golo (Corse alpine): signification paléogéographique et conséquences tectoniques. *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **309**, 727-732.

- Lahondère J.C., Lahondère D. (1988) - Organisation structurale des "schistes lustrés" du Cap Corse (Haute-Corse). *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **307**, 1081-1086.
- Leake B.E. (1978) - Nomenclature of amphiboles. *Miner. Mag.*, **42**, 533-563.
- Ludwig K.R. (1991) - ISOPLOT: a plotting and regression program for radiogenic isotope data. USGS Open File Report 91-445, 40 p.
- Mattauer M., Proust F. (1976) - La Corse alpine: un modèle de genèse du métamorphisme haute pression par subduction de croûte continentale sous du matériel océanique. *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **282**, 1249-1251.
- Mattauer M., Faure M., Malavieille J. (1981) - Transverse lineation and large-scale structures related to Alpine obduction in Corsica. *J. Struct. Geol.*, **3**, 401-409.
- Maury P., Ricou L.E. (1983) - Le décrochement subbriançonnais: une nouvelle interprétation de la limite interne-externe des Alpes franco-italiennes. *Rev. Géol. Dynam. géogr. Phys.*, **24** (1), 3-22.
- Mezger K., Essene E.J., Halliday A.N. (1992) - Closure temperature of the Sm-Nd system in metamorphic garnets. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **113**, 397-409.
- Michard A. (1977) - Charriages et métamorphisme haute pression dans les Alpes cottiennes méridionales: à propos des schistes à jadéite de la bande d'Acceglio. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **7**, 883-892.
- Monié P., Jolivet L., Brunet C., Torres-Roldan R.L., Caby R., Goffé B., Dubois R. (1996) - Cooling paths of metamorphic rocks in the western mediterranean region and tectonic implications. The Mediterranean basins: Tertiary extension within the alpine orogen. An international workshop. Abstracts, Cergy-Pontoise.
- Monié P., Phillipot P. (1989) - Mise en évidence de l'âge éocène moyen du métamorphisme de haute pression dans la nappe ophiolitique du Monviso (Alpes occidentales) par la méthode ^{39}Ar - ^{40}Ar . *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **309**, 245-251.
- Oberhänsli R., Hunziker J.C., Martinotti G., Stern W.B. (1985) - Geochemistry, geochronology and petrology of Monte Mucrone: an example of eo-alpine eclogitization of permian granitoids in the Sesia-Lanzo zone, western Alps, Italy. *Chem. Geol.*, **52**, 165-184.
- Ohnenstetter D., Ohnenstetter M., Rocci G. (1976) - Etude des métamorphismes successifs des cumulats ophiolitiques de Corse. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **1**, 115-134.
- Péquignot G., Lardeaux J.M., Caron J.M. (1984) - Recristallisation d'éclogites de basse température dans les metabasites corses. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, **299**, 871-874.
- Platt J.P. (1986) - Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high pressure metamorphic rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **97**, 1037-1053.
- Principi G., Treves B. (1984) - Il sistema Corso-Appenninico come prisma d'accrescimento. Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennini. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **28**, 549-576.
- Pupin J.P. (1980) - Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **73**, 207-220.
- Reddy S.M., Kelley S.P., Wheeler J. (1996) - A $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe study of micas from the Sesia Zone, Italian Alps: implications for metamorphic and deformation histories. *J. metamorphic Geol.*, **14**, 493-508.
- Rehault J.P. (1981) - Evolution tectonique et sédimentaire du bassin ligurien (Méditerranée occidentale). Thèse Doct. Sci., Univ. Paris, 232 p.
- Richard P., Shimizu N., Allègre C.J. (1976) - $^{143}\text{Nd}/^{146}\text{Nd}$, a natural tracer: an application to oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **31**, 269-278.
- Rossi P., Cocherie A., Lahondère D. (1992) - Relations entre les complexes mafiques-ultramafiques et le volcanisme andésitique stéphano-permien de Corse occidentale, témoins des phénomènes d'amincissement crustal néo-varisques. *C. R. Acad. Sci. Fr., Paris*, **315**, 1341-1348.
- Kossi P., Guennoc P., Rehault J.P., Arnaud N., Bouchra J., Poupeau G., Tegye M., Ferrandini J., Sossou M., Besliet M.O., Rollet N., Gloaguen R. (soumis) - Mise en évidence de l'importance et de l'extension du volcanisme calco-alcalin miocène sur la marge sud-ouest de la Corse (campagne MARCO 95).
- Ruffet G., Féraud G., Balleve M., Kienast J.R. (1995) - Plateau ages and excess argon in phengites: an ^{40}Ar - ^{39}Ar laser probe study of Alpine micas (Sesia Zone, Western Alps, Italy). *Chem. Geol.*, **121**, 327-343.
- Spakman W. (1986) - Subduction beneath Eurasia in connection with the Mesozoic Tethys. *Geol. en Mijnbouw*, **65**, 145-153.
- Stöckhert B., Jäger E., Voll G. (1986) - K-Ar age determinations on phengites from the internal part of the Sesia zone, western Alps, Italy. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 456-470.
- Stampfli G.M. (1993) - Le Briançonnais, terrain exotique dans les Alpes? *Eclogae geol. Helv.*, **86** (1), 1-45.
- Thöni M., Jagoutz E. (1993) - Isotopic constraints for eo-Alpine high-P metamorphism in the Austroalpine nappes of the Eastern Alps: bearing on Alpine orogenesis. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, **73**, 177-189.
- Thöni M., Miller C. (1996) - Garnet Sm-Nd data from the Saualpe and the Koralpe (Eastern Alps, Austria): chronological and P-T constraints on the thermal and tectonic history. *J. metamorphic Geol.*, **14**, 453-466.
- Treves B. (1984) - Orogenic belts as accretionary prisms: the example of the northern Apennines. *Ofoliti*, **9** (3), 577-618.
- Wallis S.R., Platt J.P., Knott S.D. (1993) - Recognition of syn-convergence extension in accretionary wedges with examples from the calabrian arc and the eastern Alps. *Amer. J. Sci.*, **293**, 463-495.
- Warburton J. (1983) - The tectonic setting and emplacement of ophiolites. A comparative study of Corsica and the Western Alps. Thesis Ph. Dr., Univ. Wales, 443 p.
- Wortel M.J.R., Vissers R.L.M., Spakman N. (1997) - Slab detachment in the Alps and a change from northward to southward subduction. European Union of Geosciences, Strasbourg, Abstracts, *Terra Nova*, **9**, 109 p.

GÉOLOGIE DE LA VANOISE

par
J. Debelmas et J. Desmons
Document du BRGM n° 266

Ce mémoire synthétise les notices explicatives des cinq feuilles au 1/50 000 couvrant le massif de la Vanoise (Savoie), publiées entre 1989 et 1994 par le BRGM.

Le massif de la Vanoise appartient au domaine pennique des Alpes occidentales et plus précisément à la zone briançonnaise, localement couverte de nappes de Schistes lustrés.

La zone *briançonnaise* comprend une partie externe, la zone *houillère*, dépourvue de couverture mésozoïque, et une partie interne, la zone *Vanoise-Ambin*, montrant un socle anté-carbonifère métamorphique, directement surmonté de Permien et d'une série sédimentaire Trias-Éocène largement décollée.

Les *Schistes lustrés* comprennent également un ensemble externe, dit *piémontais*, à série mésozoïque complexe appartenant encore à la marge européenne de la Téthys, et un ensemble interne franchement océanique, dit *liguro-piémontais*, qui débute seulement à la fin du Jurassique et comprend surtout des calcschistes néocrétacés, le tout associé à des lames d'ophiolites.

La *tectonique de la Vanoise* est liée à la collision éocène d'un prisme d'accrétion océanique avec la marge européenne, ce qui a entraîné une série de déformations complexes et un métamorphisme d'abord de H-P puis de faciès schiste vert. L'édifice qui en résulte n'est que faiblement affecté par la tectonique néogène, surtout verticale et cassante. Le profil ECORS est analysé.

This document synthesizes the explanatory notes of the five 1:50 000-scale maps of the Vanoise massif, published between 1989 and 1994 by the French Geological Survey (BRGM).

The Vanoise massif belongs to the Penninic domain of the French Western Alps, and more specifically to the Briançonnais zone. It is locally overlain by "Schistes lustrés" (Mesozoic carbonate micaschists) nappes.

The Briançonnais zone comprises an outer belt, the "zone houillère" (Late Carboniferous), almost devoid of its Mesozoic cover, and an inner belt, the "zone Vanoise-Ambin", with a metamorphic pre-Carboniferous basement, overlain by several sheets of Permian to Eocene metasedimentary rocks.

The "Schistes lustrés" are subdivided into an outer part, the "Piémontais" zone, with a complete Mesozoic sequence forming part of the European margin of the Tethys, and an inner part, the so-called "Liguro-Piémontais" zone, initiated in Jurassic times and consisting of mainly Late Cretaceous carbonate sediments deposited in an oceanic environment and underlain by a discontinuous ophiolitic base.

The tectonism of the Vanoise is related to the Eocene collision of the Alpine oceanic thrust wedge with the European margin itself, which induced multiphase deformation and HP, then greenschist facies regional metamorphism. In Neogene times, the deformation style in the resulting nappe stack was mainly brittle and high-angle.

The ECORS-CROP seismic profile is analysed but does not clarify much of the deep structure of the Vanoise massif.

Prix de vente : 220F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France et 60 F pour l'Étranger.

**En vente chez votre libraire habituel ou, à défaut, aux : Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28.
Fax : 02 38 64 36 82 accompagné de votre titre de paiement.**