

Les xénolites ultramafiques du volcanisme alcalin quaternaire d'Oranie (Tell, Algérie occidentale), témoins d'une lithosphère cisailée et enrichie

Mohamed Zerka^{a,b,*}, Jean-Yves Cottin^b, Michel Grégoire^c, Jean-Pierre Lorand^d,
M'Hamed Megartsi^e, Mohamed Midoun^f

^a Faculté des sciences de la Terre, université d'Oran, BP 1524, Oran, Algérie

^b Laboratoire de géologie-pétrologie, URA 10 CNRS, université Jean-Monnet, 23, rue du Docteur-Paul-Michelon, 42023 Saint-Etienne cedex, France

^c Département des sciences géologiques, université du Cap, Rondebosch 7701, Afrique du Sud

^d Laboratoire de minéralogie, URA 736 CNRS, Muséum national d'histoire naturelle, 61, rue de Buffon, 75005 Paris, France

^e Faculté des sciences de la Terre, USTHB/Alger, BP 32 El-Alia, Alger, Algérie

^f Centre Francis-Arrighi, Domaine de Valabre, RD 7, 13120 Gardanne, France

Reçu le 15 mai 2001 ; accepté le 12 mars 2002

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – Ultramafic xenoliths from Quaternary alkali volcanism from Oranie (Tell, western Algeria): witnesses of a sheared and enriched lithosphere. Numerous ultramafic xenoliths occur within the Aïn-Témouchent volcanic complex (Northwestern Oranie, Algeria). Most of them are type I mantle tectonites (Iherzolites and harzburgites) and composite xenoliths (harzburgite/clinopyroxenite) are rare. Only a few samples of spinel Iherzolites display relatively fertile compositions when the major part of type I xenoliths have refractory major element compositions but enriched LREE contents showing that they have been affected by mantle metasomatism. The composite xenoliths are witnesses of reactions of alkaline magmas with the upper mantle. An asthenospheric rising, in relation with the large strike slip fault affecting the North African plate margin at Trias time is proposed as a possible geodynamical setting. *To cite this article: M. Zerka et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 387–394.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

xenoliths / upper mantle / mantle metasomatism / lithospheric thinning / Oranie / Algeria

Résumé – Le complexe volcanique alcalin quaternaire d'Aïn-Témouchent (Oranie, Algérie nord-occidentale) a remonté de nombreuses enclaves de Iherzolite et de harzburgite, ainsi que de rares enclaves « composites » harzburgite/clinopyroxénite. Quelques Iherzolites, rééquilibrées dans le domaine de stabilité des péridotites à spinelle, ont des compositions relativement fertiles ; les autres, qui apparaissent réfractaires au niveau des éléments majeurs, mais enrichies en terres rares légères, correspondent à des produits de réactions entre manteau et magmas (métasomatisme mantellique). Un amincissement lithosphérique en régime distensif, favorisé par de profonds cisaillements et situé dans une ancienne zone de subduction, serait actif sur la bordure septentrionale de la plaque Afrique au cours du Néogène et, probablement, dès le Trias. *Pour citer cet article : M. Zerka et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 387–394.* © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

xénolites / manteau supérieur / métasomatisme mantellique / amincissement lithosphérique / Oranie / Algérie

* Correspondance et tirés à part.
Adresses e-mail : mzerka@yahoo.fr (M. Zerka),
cottin@univ-st-etienne.fr (J. Cottin).

Abridged version

1. Introduction

The affinity of the volcanism of Oranie, located in the northern margin of the Africa plate (Fig. 1), evolved from calc-alkaline during Miocene to alkaline during the Quaternary [16, 18]. This evolution, observed all around the western part of the Mediterranean Sea, is related either to a context of subduction of the Alboran plate under the African one, stopped during Lower Pliocene [1, 6, 12, 16, 17] or to a large shear zone affecting the North African margin [13]. The study of mantle xenoliths of the Aïn-Témouchent volcanic complex (Oranie, northwestern Algeria) allows to constrain the nature of the modifications undergone by the upper mantle in a recent and complex orogenic zone along the northern margin of the African plate.

2. Textures and mineralogy

Mantle xenoliths that we have studied are dominantly spinel lherzolites and spinel and plagioclase lherzolites. Some spinel \pm plagioclase \pm amphibole harzburgites also occur. A composite xenolith displaying a spinel harzburgite cross-cut by a vein (≤ 2 cm thickness) of spinel diopsidite is incorporated in this study.

By their textural and mineralogical characteristics (Table 1), the studied rocks corresponds to type I xenoliths as defined by Frey and Prinz [10]. Harzburgites are mostly protogranular. Lherzolites are porphyroclastic or equigranular. Sometimes, very fine-grained (< 0.5 mm), the most deformed rocks are very real mantle mylonites. Pyroxenes and spinel form clusters in harzburgites and discontinuous ribbons in lherzolites. The non-deformed plagioclase commonly surrounds the spinel or is scattered in the olivine and pyroxene matrix. Crystals of brown interstitial amphibole appear in some protogranular harzburgites and some equigranular lherzolites. The composite xenolith harzburgite/diopsidite displays a porphyroclastic texture.

3. Whole rock compositions

Major elements characteristics allow to distinguish two groups of samples: the first group consists of porphyroclastic spinel lherzolites displaying relative fertile compositions and the second one corresponds to more refractory protogranular harzburgites and equigranular spinel \pm plagioclase lherzolites (Table 1). CaO, TiO₂ and Yb contents show positive correlations with Al₂O₃ (Fig. 2), while Al₂O₃ display negative correlation with mg* (Fig. 3). The REE composition also allows distinguishing the two groups of xenoliths (Fig. 4). The first one is characterised by MORB-type REE patterns showing depletion in LREE by comparison to MREE and HREE (Yb_N/La_N: 1.8 to 3.7). The samples from the second group display asymmetric U-shaped patterns characterized by enrichment in LREE and HREE relative to the MREE.

In the composite xenolith (harzburgite/diopsidite), major element composition of the harzburgite does not vary from the contact with the vein, characterised itself by a different composition (Table 1). The harzburgite wall rock shows a U-shaped REE pattern similar to those of harzburgites and spinel \pm plagioclase lherzolites (Fig. 5). The diopsidite is characterised by a REE pattern indicating enrichment in MREE relative to LREE (Eu_N/La_N: 1.7) and HREE (Eu_N/Yb_N: 3.7). This pattern is similar to those of the type II xenoliths of Frey and Prinz [10] and characterise alkaline mantle segregates.

4. Discussion and conclusion

Textural, mineralogical and chemical heterogeneities observed in type I mantle xenoliths from the Aïn-Témouchent area point out the importance of the upper mantle dynamics beneath the northern margin of the Africa plate. Spinel-two pyroxenes clusters occurring in mantle rocks have previously been explained by the mineralogical transformations of garnet [5, 9, 23]. This suggests that our xenoliths could be initially equilibrated in the 'garnet peridotite stability field' and then re-equilibrated in the 'spinel peridotite stability field' during adiabatic decompression related to a diapiric rising or by isobaric heating. The calculation of equilibrium temperatures of the xenoliths, using the Opx–Cpx geothermometer [3], indicates that reactions of plastic deformation and recrystallisation ended between 820 and 1080 °C. The calculated temperatures, using the Ol–Sp geothermometer [7], are systematically lower than those obtained by the Opx–Cpx one (740–900 °C) and probably characterise the thermal conditions underwent by the xenoliths just before their sampling by the ascending basalts.

The increase of the refractory character from the porphyroclastic and equigranular spinel lherzolites to the protogranular spinel and plagioclase harzburgites is characterised by a decrease of the modal abundance of clinopyroxene and spinel, and an increase of those of olivine and of mg*_{rocks} and cr*_{sp}. Similar characteristics can be interpreted in term of variable degrees of progressive partial melting of a relatively fertile lherzolitic upper mantle and melts extraction [2, 11]. Some porphyroclastic spinel lherzolites (CaO/Al₂O₃ < 1 and cr*_{sp} < 13) high in Al₂O₃ and CaO and displaying MORB type REE patterns could be remains of this fertile mantle. They also could represent a refractory lithosphere enriched by mantle metasomatism. The protogranular textures of harzburgites may evidence recrystallization processes related to the circulation of a metasomatic agent responsible for the LREE-enriched patterns and occurrence of Ti-pargasite and plagioclase in these rocks [2, 4]. The composite xenolith evidences the existence of a network of anhydrous magmatic veins into the upper mantle beneath the volcanic complex of Aïn-Témouchent. The diopsidite veins probably represent, as evidenced by their REE patterns, deep alkaline segregates crystallised in the *P–T* conditions of the 'spinel peridotites stability field'.

The study of the type I ultramafic xenoliths from the volcanic complex of Aïn-Témouchent points out the structural and compositional heterogeneities of the lithosphere. The mineralogical and textural features are probably the result of lithospheric thinning and mantle diapir rising processes related to the shearing process occurring in the northern margin of Africa [13]. As proposed for the western Pyrenees lherzolite orogenic massifs [8], the fine-grained equigranular textures originated in the most shallower levels of the lithospheric mantle. The lack of dunites and the low harzburgites/lherzolites ratio are also in agreement with a context of a thinned mantle lithosphere sheared in its shallower levels.

Lithospheric thinning and mantle diapir rising in Oranie have probably started during Trias, as evidenced by the occurrence of spinel- and plagioclase-bearing mantle lherzolites and HT-BP metamorphic crustal rocks in the lower part of the Tellian units [19]. Such a geodynamic context implying a thinned lithosphere is in good agreement with the palaeogeographic reconstitutions proposing a Triassic rifting followed by a shearing process at the lithospheric scale due to the anticlockwise movement of the African plate [13].

The textural and mineralogical heterogeneities, evidenced by the mantle xenoliths from Oranie, clearly point out the importance of the lithospheric thinning process associated to the deep shear zones in a distensive regime. The enrichment processes of the subcontinental mantle, as well as the change of the affinity of the volcanism (calc-alkaline to alkaline), could be explained by a late geodynamic context of lithospheric thinning and shearing, implying lithospheric risings, following an early subduction episode [17]. Upper mantle xenoliths from the Oranie volcanism and those associated to the Triassic materials of the Tellian units are mainly spinel and spinel + plagioclase lherzolites. But the upper mantle rocks from the Middle Moroccan Atlas (located south from Oranie) and from Beni-Bousera (located west from Oranie) are mostly spinel lherzolites and spinel and/or garnet pyroxenites equilibrated at deeper depths [15, 20]. The mantle from Oranie could be therefore intermediate between a typical subcontinental mantle and an upper mantle, typical of a continental rift system. The distensive regime may have been initiated during the Trias due to the movement of Africa toward the East, in response to the Middle Atlantic ocean opening.

1. Introduction

Le volcanisme d'Oranie [25], en marge septentrionale de la plaque Afrique (Fig. 1), montre un changement de composition au cours du Néogène : calco-alkalin au Miocène, puis alcalin au Plio-Quaternaire, avec des termes de transition entre ces deux affinités [16, 18]. Cette évolution, qui apparaît généralisée à l'ensemble du pourtour de la Méditerranée occidentale, est attribuée, soit à un contexte particulier de subduction de la plaque Alboran sous la plaque Afrique, dont l'activité aurait été stoppée au Pliocène inférieur [1, 6, 12, 16, 17], soit à un vaste cisaillement parallèle à la marge nord-africaine [13]. Le complexe volcanique d'Aïn-Témouchent, d'âge Quaternaire (–1,28 à –0,82 Ma) [16], repose, soit sur des formations sédimentaires miocènes synchro- et post-nappes, soit sur des unités allochtones telliennes ou encore des sédiments plio-quaternaires (Fig. 1). Les laves émises, d'affinité alcaline [18], renferment une grande diversité d'enclaves ultramafiques : des tectonites mantelliques, des ségrégats magmatiques et des enclaves composites [27]. En l'absence de véritables affleurements de socle profond en Oranie, l'étude pétrologique et géochimique des xénolites mantelliques du complexe volcanique d'Aïn-Témouchent, la première réalisée sur des roches du manteau supérieur de cette région, nous permet de mieux connaître la nature des modifications subies par le manteau supé-

rieur dans une zone orogénique récente et complexe, en bordure septentrionale de la plaque africaine.

2. Textures et minéralogie

Les enclaves de tectonites mantelliques sont surtout des lherzolites à spinelle ou à spinelle et plagioclase ± amphibole. Quelques harzburgites à spinelle ± plagioclase apparaissent également. Une enclave composite, formée d'une harzburgite à spinelle recoupée par des filonnets (≤ 2 cm d'épaisseur) de diopsidite à spinelle, a été également étudiée. Par leurs caractères texturaux et minéralogiques (Tableau 1), les roches étudiées correspondent aux xénolites de type I définis par Frey et Prinz [10]. Les harzburgites sont protogranulaires. Les lherzolites sont porphyroclastiques ou équi-granulaires. Quelques lherzolites équi-granulaires à grain très fin ($< 0,5$ mm) correspondent à de véritables mylonites. Les associations pyroxènes-spinelle forment des amas dans les harzburgites et des rubans discontinus dans les lherzolites. Le plagioclase qui apparaît dans quelques harzburgites et lherzolites n'est pas déformé ; il entoure souvent le spinelle ou est disséminé aux joints de grains. L'amphibole brune apparaît en petits cristaux dans quelques harzburgites protogranulaires et lherzolites équi-granulaires à spinelle ± plagioclase. L'enclave composite harzburgite/diopsidite montre une texture porphyroclastique.

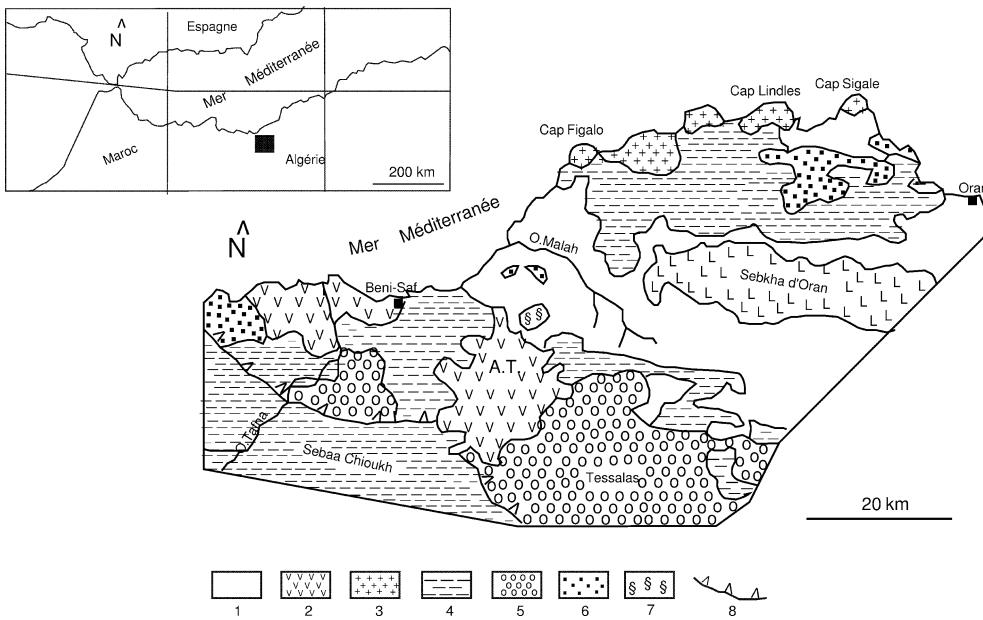


Figure 1. Situation et contexte géologique du complexe volcanique d'Aïn-Témouchent (A.T.). 1. Sédiments plio-quaternaires. 2. Volcanisme alcalin plio-quaternaire. 3. Volcanisme calco-alcalin miocène. 4. Miocène synchro- et post-nappes. 5. Unités telliennes. 6. Unités rifaines. 7. Mésozoïque. 8. Front de chevauchement.

Figure 1. Location and geological setting of the Aïn-Témouchent volcanic complex (A.T.). 1. Plio-Quaternary sediments. 2. Alkaline Plio-Quaternary volcanism. 3. Calc-alkaline Miocene volcanism. 4. Synchro- and post-sheets Miocene. 5. Telliian Units. 6. Rifain Units. 7. Mesozoic. 8. Thrust front.

3. Chimie globale

La distribution des éléments majeurs dans les xénolites de type I d'Aïn-Témouchent permet de distinguer deux groupes. L'un comprend les lherzolites porphyroclastiques à spinelle, de composition relativement fertile ($mg^* = 100 Mg/(Mg + Fe) : 89-90$; $Al_2O_3 : 3-4\%$; $CaO : 2-3\%$); l'autre groupe réunit les harzburgites protogranulaires et les lherzolites porphyroclastiques et équi-granulaires à spinelle et plagioclase, à caractère plus réfractaire ($mg^* : 90-91$; $Al_2O_3 : 1,2-2,5\%$; $CaO : 1-2,5\%$). Globalement, les teneurs en CaO, TiO_2 et Yb montrent des corrélations positives avec Al_2O_3 (Fig. 2). À l'inverse, Al_2O_3 indique une corrélation négative avec mg^* (Fig. 3). La distribution des terres rares, normalisées aux valeurs chondritiques [26], permet aussi de distinguer et de caractériser la fertilité relative ou l'enrichissement secondaire des xénolites de type I d'Aïn-Témouchent (Fig. 4). Pour les lherzolites porphyroclastiques à spinelle fertiles, dont les compositions en éléments majeurs sont proches de celles des estimations des concentrations du manteau supérieur primitif [14, 24], les spectres de type MORB sont caractérisés par un appauvrissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ($Yb_N/La_N : 1,8$ à $3,7$). Le deuxième type de spectres, en U asymétrique, montre un enrichissement en terres rares légères et en terres rares lourdes par rapport aux terres rares moyennes. Cette tendance caractérise toutes les harzburgites et les lherzolites à spinelle et plagioclase \pm amphibole. Dans l'enclave composite harzburgite/diopsidite, les teneurs en éléments majeurs de la harzburgite encaissante ne varient pas de façon significative par rapport au contact avec la veine de diopsidite, qui est de com-

position tout à fait différente (Tableau 1). La harzburgite encaissante montre un spectre en U semblable à celui des harzburgites et des lherzolites à spinelle \pm plagioclase (Fig. 5). La diopsidite est caractérisée par un spectre convexe, indiquant un enrichissement en terres rares moyennes par rapport aux terres rares légères ($Eu_N/La_N : 1,7$) et aux terres rares lourdes ($Eu_N/Yb_N : 3,7$). Ce type de spectre est très comparable à ceux des enclaves de clinopyroxénites à spinelle de type II de Frey et Prinz [10] et caractérise les cumulats de magmas alcalins mis en place dans les conditions du manteau supérieur.

4. Températures d'équilibre

Deux géothermomètres ont été utilisés pour la détermination des températures d'équilibre de ces enclaves : Opx-Cpx [3] et Ol-Sp [7]. Les températures obtenues par le couple pyroxénique, enregistrées aux cœurs des porphyroclastes, révèlent un blocage des réactions de recristallisation sous contraintes entre 820 et 1080 ± 50 °C (Tableau 1). Le couple Ol-Sp donne des températures systématiquement inférieures ou au plus égales à celles obtenues par le couple Opx-Cpx, qui se situent entre 740 et 900 °C (Tableau 1). Ces températures caractérisent les conditions thermiques de la fin du rééquilibrage post-cinématique acquis par les xénolites au moment de leur prélèvement par les laves alcalines ascendantes dans la lithosphère.

5. Discussion

Les hétérogénéités texturales, minéralogiques et chimiques observées dans les xénolites mantelliques

Tableau 1. Caractéristiques texturales, minéralogiques et chimiques des xénolites d'Aïn-Témouchent { $mg^* = 100 \text{ Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$; $cr^* = 100 \text{ Cr}/(\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ }.**Table 1.** Textural, mineralogical and chemical characteristics of Aïn-Témouchent xenoliths { $mg^* = 100 \text{ Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$; $cr^* = 100 \text{ Cr}/(\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ }.

	Textures / Textures	Minéralogie / Mineralogy	Températures d'équilibre / Equilibrium temperatures		Éléments majeurs / Major elements
			Opx-Cpx	Ol-Sp	
Lherzolites à spinelle \pm plagioclase \pm amphibole	Porphyroclastiques	Ol (Fo ₈₉₋₉₁) – Opx (En ₉₀₋₉₂) – Cpx (Cr-diop., mg^* : 91–93) – Sp (cr^* : 10–12) – Pl (An ₄₄₋₅₅) – Amp (Ti-parg.)	820–1080 °C	790–860 °C	mg^* : 89–90 Al ₂ O ₃ : 3–4% – CaO : 2–3% (caractère relativement fertile / relatively fertile character)
<i>Spinel \pm plagioclase \pm amphibole lherzolites</i>	<i>Porphyroclastic</i>				
Lherzolites à spinelle \pm plagioclase \pm amphibole	Equigranulaires à mylonitiques	Ol (Fo ₉₀₋₉₁) – Opx (En _{89,5-91}) – Cpx (Cr-diop., mg^* : 91–94) – Sp (cr^* : 12–16) – Pl (An ₅₂₋₅₄) – Amp (Ti-parg.)	870–930 °C	740–800 °C	mg^* : 90–90,5 Al ₂ O ₃ : 2–2,5% – CaO : 1,5–2,5% (caractère réfractaire / refractory character)
<i>Spinel \pm plagioclase \pm amphibole lherzolites</i>	<i>Equigranular to mylonitic</i>				
Harzburgites à spinelle \pm plagioclase \pm amphibole	Protogranulaires	Ol (Fo _{90,5-91,5}) – Opx (En _{90-90,5}) – Cpx (Cr-diop., mg^* :) – Sp (cr^* : 19–28) – Pl (An ₄₂₋₄₅) – Amp (Ti-parg.)	900–970 °C	750–800 °C	mg^* : 90–91 Al ₂ O ₃ : 1–2,5% – CaO : 1–2,5% (caractère réfractaire / refractory character)
<i>Spinel \pm plagioclase \pm amphibole harzburgites</i>	<i>Protogranular</i>				
Enclave composite harzburgite/diopsidite	Porphyroclastique	Ol (Fo ₉₀₋₉₁) – Opx (En ₉₁₋₉₂) – Cpx (Cr-diopside, mg^* : 91–92) – Sp (cr^* : 19–21) Cpx (Cr-diop., mg^* : 91–92,5) – Sp (cr^* : 8–10)	900 °C	800–850 °C	Harzburgite : mg^* : 91 Al ₂ O ₃ : 1,5% – CaO : 1% (caractère réfractaire / refractory character) Diopsidite : mg^* : 91 Al ₂ O ₃ : 5% – CaO : 16,5%
<i>Composite xenolith harzburgite/diopsidite</i>	<i>Porphyroclastic</i>				

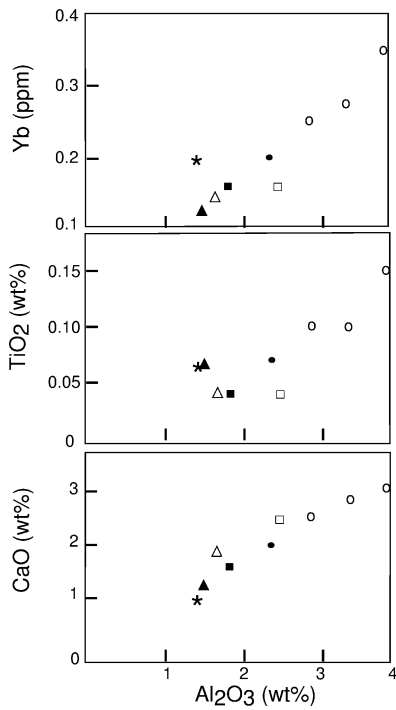


Figure 2. Al_2O_3 en fonction de CaO , TiO_2 et Yb dans les xénolites étudiées. \circ : Lherzolites porphyroclastiques à spinelle. \bullet : Lherzolites porphyroclastiques à spinelle et plagioclase \pm amphibole. \square : Lherzolites équi-granulaires à spinelle. \blacksquare : Lherzolites équi-granulaires à spinelle et plagioclase \pm amphibole. \triangle : Harzburgites protogranulaires à spinelle. \blacktriangle : Harzburgites protogranulaires à spinelle et plagioclase \pm amphibole. \star : Harzburgite à spinelle de l'enclave composite.

Figure 2. Al_2O_3 vs CaO , TiO_2 et Yb in the studied xenoliths. \circ : Porphyroclastic spinel lherzolites. \bullet : Porphyroclastic spinel and plagioclase \pm amphibole lherzolites. \square : Equigranular spinel lherzolites. \blacksquare : Equigranular spinel and plagioclase \pm amphibole lherzolites. \triangle : Protogranular spinel harzburgites. \blacktriangle : Protogranular spinel and plagioclase \pm amphibole harzburgites. \star : Spinel harzburgite of the composite xenolith.

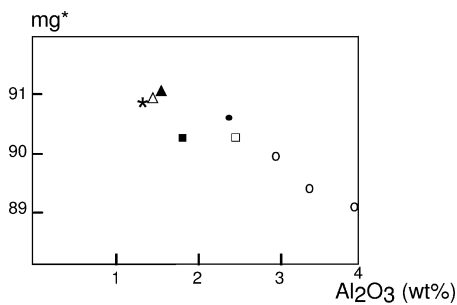


Figure 3. Al_2O_3 en fonction du mg^*_{roches} dans les xénolites étudiées (mêmes légendes que sur la Fig. 2).

Figure 3. Al_2O_3 vs mg^*_{rocks} in the studied xenoliths (same legends as Fig. 2).

de type I du massif volcanique d'Aïn-Témouchent traduisent l'importance de la dynamique du manteau lithosphérique à l'aplomb de la marge septentrionale de la plaque Afrique, alors que cette zone fait encore l'objet de nombreux débats sur l'exis-

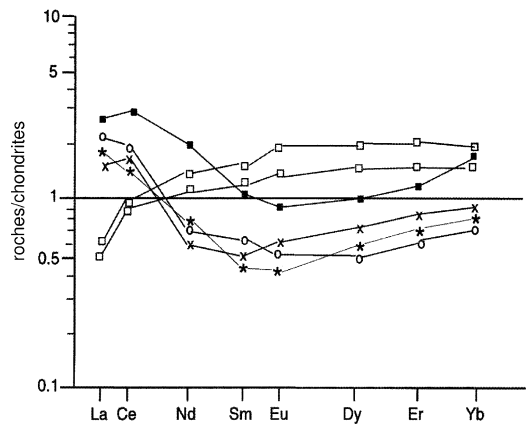


Figure 4. Concentrations des terres rares normalisées aux valeurs des chondrites dans les xénolites étudiées. Valeurs de normalisation d'après Sun et McDonough [26]. \square : Lherzolites porphyroclastiques à spinelle. \blacksquare : Lherzolites porphyroclastiques à spinelle et plagioclase \pm amphibole. \times : Lherzolites équi-granulaires à spinelle. \star : Lherzolites équi-granulaires à spinelle et plagioclase \pm amphibole. \circ : Lherzolites équi-granulaires à spinelle et plagioclase \pm amphibole.

Figure 4. Chondrite-normalised abundances of rare earth elements in the studied xenoliths. Normalisation values after Sun and McDonough [26]. \square : Porphyroclastic spinel lherzolites. \blacksquare : Porphyroclastic spinel and plagioclase \pm amphibole lherzolites. \times : Equigranular spinel lherzolites. \star : Equigranular spinel and plagioclase \pm amphibole lherzolites. \circ : Protogranular spinel and plagioclase \pm amphibole harzburgites.

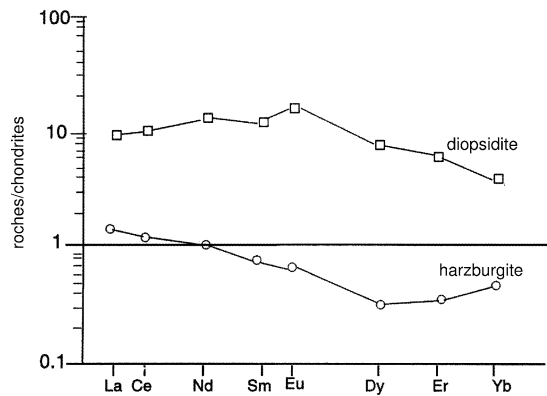


Figure 5. Concentrations des terres rares normalisées aux valeurs des chondrites dans l'enclave composite harzburgite/diopside. Valeurs de normalisation d'après Sun et McDonough [26].

Figure 5. Chondrite-normalised abundances of rare earth elements in the harzburgite/diopside composite xenolith. Normalisation values after Sun and McDonough [26].

tence ou non de zones de subduction postulées sur l'existence de la dualité calco-alcalin/alcalin du volcanisme néogène [6, 12, 13, 16, 17]. Les associations de pyroxènes et spinelle pourraient résulter de transformations minéralogiques d'anciens grenats par décompression adiabatique au cours d'une remontée diapirique ou par réchauffement isobare [5, 9, 23]. Les températures d'équilibre indiquent un ultime événement de déformations et de recristallisations sous contraintes produit entre 820 et 1080 °C.

Le ré-équilibrage final, avant le prélèvement par les basaltes-hôtes, s'est effectué à des températures comprises entre 740 et 900 °C dans le domaine de stabilité des péridotites à spinelle.

L'augmentation du caractère réfractaire depuis les lherzolites porphyroclastiques à spinelle jusqu'aux harzburgites protogranulaires à spinelle et plagioclase s'exprime par une diminution des proportions modales de clinopyroxène et de spinelle, ainsi que par une augmentation de celles de l'olivine et des rapports mg^* des roches et cr^* du spinelle. Les lherzolites équi-granulaires à spinelle et plagioclase montrent des caractéristiques, soit intermédiaires entre les lherzolites porphyroclastiques à spinelle et les harzburgites protogranulaires à spinelle et plagioclase, soit comparables à ces dernières. De telles évolutions dans les roches mantelliques peuvent être reliées à des degrés variables de fusion partielle progressive et d'extraction de liquides d'une lherzolite fertile jusqu'à un résidu harzburgitique [2, 11]. Dans quelques lherzolites porphyroclastiques à spinelle ($CaO/Al_2O_3 < 1$ et $cr_{sp}^* < 13$) riches en Al_2O_3 et CaO, les spectres de terres rares de type MORB observés montrent qu'elles ont subi les effets d'un ou plusieurs processus de fusion partielle de faible degré et demeureraient plutôt représentatives d'un manteau faiblement déprimé. Les harzburgites et les lherzolites à spinelle et plagioclase (\pm amphibole), pauvres en Al_2O_3 et CaO, sont réfractaires, mais enrichies secondairement par des processus de métasomatisme mantellique, comme l'attestent leurs spectres de terres rares en U. Les textures protogranulaires des harzburgites peuvent également être interprétées comme le résultat d'une importante restauration au cours de réactions avec un agent métasomatique dont l'activité est mise en évidence par la présence de pargasite titanifère et de plagioclase moyennement sodique (An_{42-54}), ainsi que par les spectres enrichis en terres rares légères de ces roches [2, 4]. Ce type de spectres est en effet compatible avec un effet chromatographique dû à la percolation de faibles fractions de liquides basaltiques à travers des péridotites initialement appauvries en terres rares légères [2, 21, 22].

Les enclaves composites mettent en évidence l'existence d'un réseau filonien basaltique anhydre dans le manteau supérieur. Les diopsidites peuvent être considérées comme des ségrégats de basaltes alcalins ayant cristallisé en profondeur dans les conditions de stabilité des péridotites à spinelle. En outre, les diopsidites ont subi, comme les harzburgites encaissantes, un ultime événement de recristallisation sous contrainte, à des températures voisines de 900 °C, au sein de la lithosphère.

L'étude des enclaves ultramafiques de type I d'Aïn-Témouchent démontre l'existence d'hétérogénéités structurales et de composition au sein de la litho-

sphère. Les transformations minéralogiques et texturales résultent, sans doute, de remontées lithosphériques favorisées par de profonds cisaillements jalonnant la marge septentrionale de l'Afrique [13]. Comme dans les Pyrénées occidentales, les textures équi-granulaires à grain fin se forment dans les niveaux les plus superficiels du manteau lithosphérique, à la faveur de cisaillements susceptibles de mettre en relation le manteau supérieur et la croûte supérieure [8]. L'absence de dunités et la faible abondance des harzburgites démontrent que le cortège de xénolites de type I est compatible avec un contexte de lithosphère amincie et cisailée dans les niveaux superficiels. Les remontées lithosphériques peuvent avoir débuté dès le Trias dans la région, comme en témoigne la présence de lherzolites à spinelle et plagioclase et de roches métamorphiques de HT-BP dans les « complexes triasiques » constituant, soit des diapirs salifères, soit les semelles des nappes telliennes d'Oranie [19]. Un tel schéma impliquant une lithosphère amincie et cisailée s'intègre parfaitement dans les différentes reconstitutions paléogéographiques qui impliquent un *rifting* triasique, puis un décrochement cisailant à l'échelle lithosphérique, accompagnant le déplacement anti-horaire de la plaque Afrique [13]. Ce contexte géodynamique pourrait être relayé ou non localement par des zones de subduction précurseurs des manifestations calco-alcalines miocènes [17].

Les témoins du manteau supérieur d'Oranie, comme ceux, plus septentrionaux, associés aux semelles triasiques des nappes telliennes, sont essentiellement des lherzolites à spinelle et à spinelle et plagioclase. Plus au sud, et à l'intérieur de la plaque africaine (Moyen Atlas marocain et Beni-Boussera), les témoins mantelliques sont des lherzolites à spinelle et des pyroxénites à spinelle et/ou à grenat, équilibrées à plus grande profondeur [15, 20]. L'Oranie pourrait donc être une zone intermédiaire entre un domaine mantellique africain franchement continental et une zone d'amincissement lithosphérique liée à un contexte de *rifting* continental le long d'une grande zone de cisaillement. Le début de ce régime distensif peut se situer au Trias, en relation avec le déplacement de l'Afrique vers l'est, consécutif à l'ouverture de l'océan Atlantique moyen.

6. Conclusion

Les hétérogénéités minéralogiques et texturales observées dans les enclaves mantelliques d'Oranie montrent l'importance des cisaillements lithosphériques en régime distensif. L'enrichissement du manteau subcontinental, à des degrés divers, ainsi que le changement du volcanisme, de calco-alcalin à alcalin, pourraient s'expliquer par un contexte géodynamique

faisant intervenir une contribution asthénosphérique au Quaternaire, relayant un épisode antérieur de subduction [17]. Un tel contexte doit obligatoirement être caractérisé par d'importants cisaillements à l'échelle de la lithosphère, qui permettent d'expliquer à la fois les hétérogénéités texturales (protogranulaires à mylonitiques) et les enrichissements en éléments en traces des roches mantelliques, car ces cisaillements ont servi de drains magmatiques aux basaltes alca-

lins asthénosphériques plus tardifs et liés à une intumescence thermique de type « panache ». Les lherzolites porphyroclastiques à spinelle, appauvries en terres rares légères, proviendraient de la lithosphère continentale profonde. Les harzburgites et lherzolites à spinelle et plagioclase \pm amphibole proviendraient du manteau lithosphérique, remonté à la faveur de grands cisaillements et enrichi par la percolation des magmas alcalins.

Références

- [1] H. Bellon, Séries magmatiques néogènes et quaternaires du pourtour de la Méditerranée occidentale comparées dans leur cadre géochronométrique : implications géodynamiques, thèse, université Paris-Sud, Orsay, 1976, 363 p.
- [2] J.-L. Bodinier, M.-A. Menzies, M.-F. Thirlwall, Continental to oceanic mantle transition—REE and Sr–Nd isotopic geochemistry of the Lanzo lherzolite massif, Orogenic Lherzolites and Mantle Processes, *J. Petrol.* (1991) 191–210 (special issue).
- [3] P. Brey, T. Köhler, Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometry and practical assessment of existing thermobarometers, *J. Petrol.* 31 (1990) 1353–1378.
- [4] G.-Y. Bussod, J.-M. Christie, Textural development and melt topology in spinel lherzolite experimentally deformed at hypersolidus conditions, Orogenic Lherzolites and Mantle Processes, *J. Petrol.* (1991) 17–40 (special issue).
- [5] D.A. Carswell, W.L. Griffin, P. Kresten, Peridotite nodules from the Ngopetsoen and Lipelaneng kimberlites, Lesotho: a crustal or mantle origin, in: J. Kornprobst (Ed.), *Kimberlites II: The Mantle and Crust–Mantle Relationships*, Elsevier, 1984, pp. 229–243.
- [6] M. El-Azzouzi, J.B. Griffiths, H. Bellon, R.C. Maury, A. Piqué, S. Fourcade, J. Cotten, J. Hernandez, Évolution des sources du volcanisme marocain au cours du Néogène, *C. R. Acad. Sci. Paris, série IIA* 329 (1999) 95–102.
- [7] J. Fabriès, Spinel–olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes, *Contrib. Mineral. Petrol.* 69 (1979) 329–336.
- [8] J. Fabriès, J.-P. Lorand, J.-L. Bodinier, Petrogenetic evolution of orogenic lherzolite massifs in the central and western Pyrenees, *Tectonophysics* 292 (1998) 145–167.
- [9] J. Fabriès, J.-P. Lorand, J.-L. Bodinier, C. Dupuy, Evolution of the upper mantle beneath the Pyrenees: evidence from orogenic spinel lherzolite massifs, Orogenic Lherzolites and Mantle Processes, *J. Petrol.* (1991) 55–76 (special issue).
- [10] F.A. Frey, M. Prinz, Ultramafic inclusions from San Carlos (Arizona), petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis, *Earth Planet. Sci. Lett.* 38 (1978) 129–176.
- [11] F.A. Frey, J. Suen, H.W. Stockman, The Ronda high temperature peridotite geochemistry and petrogenesis, *Geochim. Cosmochim. Acta* 49 (1985) 2469–2491.
- [12] P. Guardia, Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale, thèse d'État, université de Nice, 1975, 289 p.
- [13] J. Hernandez, F.D. De Larouzière, J. Bolze, P. Bordet, Le magmatisme néogène bético-rifain et le couloir de décrochement trans-Alboran, *Bull. Soc. géol. France* (8) III (2) (1987) 257–267.
- [14] E. Jagoutz, H. Palme, H. Baddenhauser, K. Blum, M. Cendales, G. Dreibus, B. Spettel, V. Lorenz, H. Wänke, The abundance of major, minor and trace elements in the earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules, in: *Proc. 10th Lunar Planet. Sci. Conf.*, 1979, pp. 2031–2050.
- [15] J. Kornprobst, Contribution à l'étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif (Maroc septentrional), *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 251, Rabat, 1974, 256 p.
- [16] A. Louni-Hacini, H. Bellon, R.C. Maury, M. Megartsi, C. Coulon, B. Semroud, J. Cotten, A. Coutelle, Datation ^{40}K – ^{40}Ar de la transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie au Miocène supérieur, *C. R. Acad. Sci. Paris, série IIA* 325 (1995) 975–982.
- [17] R.C. Maury, S. Fourcade, C. Coulon, M. El Azzouzi, H. Bellon, A. Coutelle, A. Ouabadi, B. Semroud, M. Megartsi, J. Cotten, O. Belanteur, A. Louni-Hacini, A. Piqué, R. Capdevila, J. Hernandez, J.-P. Réhault, Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab breakoff, *C. R. Acad. Sci. Paris, série IIA* 331 (2000) 159–173.
- [18] M. Megartsi, Le volcanisme mio-plio-quaternaire d'Oranie nord-occidentale, thèse, université d'Alger, 1985, 296 p.
- [19] M. Midoun, V. Perthuisot, Les éléments de socle inclus dans les évaporites du Trias (région d'Oran, Algérie). Implications sur les caractéristiques du substratum et sur l'amincissement lithosphérique triasique, *C. R. Acad. Sci. Paris, série II* 315 (1992) 571–577.
- [20] A. Moukadiri, Les enclaves ultrabasiques associées aux basaltes alcalins dans le district volcanique d'Azrou–Timahdite, thèse, université de Clermont-Ferrand, 1983, 150 p.
- [21] B.O. Mysen, I. Kushiro, Compositional variations of coexisting phases with degree of partial melting of peridotite in the upper mantle, *Amer. Mineral.* 62 (1977) 843–865.
- [22] O. Navon, E. Stolper, Geochemical consequence of melt percolation: the upper mantle as a chromatographic column, *J. Geol.* 95 (1987) 285–307.
- [23] A. Nicolas, F. Lucazeau, R. Bayer, Peridotite xenoliths in Massif Central basalts, France: texture and geophysical evidence for asthenospheric diapirism, in: P.H. Nixon (Ed.), *Mantle Xenoliths*, John Wiley and Sons, Chichester, 1987, pp. 563–574.
- [24] P.H. Nixon, *Mantle Xenoliths*, John Wiley and Sons, Chichester, 1987, 845 p.
- [25] G. Sadran, Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du Tell oranais, *Nouv. série, bull. n° 18, Publ. Serv. Géologie, Algérie*, 1958, 533 p.
- [26] S.S. Sun, W.F. McDonough, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes, in: A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.), *Magmatism in the Oceans Basins*, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, Blackwell Sci. Publishers, Oxford, 1989, pp. 313–346.
- [27] M. Zerka, Étude des enclaves ultramafiques du volcanisme plio-quaternaire d'Oranie : exemple des massifs d'Aïn-Témouchent et de la Basse Tafna, thèse, USTHB, Alger, 1991, 176 p.