



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 197–204



Géomatériaux (Pétrologie)

Un « point chaud » sous le système du Rift syrien : données pétrologiques complémentaires sur les enclaves du volcanisme récent

Ahmad Bilal *, Fatina Sheleh

Département de géologie, université de Damas, BP 9487, Damas, Syrie

Reçu le 8 avril 2003 ; accepté le 9 septembre 2003

Présenté par Jean Dercourt

Résumé

Les enclaves ultrabasiques (lherzolites, harzburgites, pyroxénites) de trois sites du volcanisme récent de Syrie (Jubates au nord, Mhailbeh au centre, Tel-Thannoun au sud) sont étudiées en détail. Les conditions P – T minimales de formation, par les thermomètres des pyroxènes pour les températures, et la densité maximale de CO_2 d'inclusions fluides primaires, pour les pressions, définissent une évolution régulière dans le champ des lherzolites à spinelle, avec des valeurs sensiblement plus élevées pour les pyroxénites (T de l'ordre de $1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P > 15\text{ kbar}$) que pour les lherzolites et harzburgites ($900 < T < 1100\text{ }^\circ\text{C}$, P entre 10 et 15 kbar). En revanche, le volcanisme crétacé trouve sa source dans le champ des lherzolites à grenat, ce qui semble traduire une remontée de l'apex du point chaud situé sous le système du Rift syrien, depuis le Crétacé jusqu'à nos jours.

Pour citer cet article : A. Bilal, F. Sheleh, C. R. Geoscience 336 (2004).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

A 'hot spot' under the Syrian Rift system: complementary petrological data on inclusions of recent volcanoes. Ultrabasic xenoliths (pyroxenites, lherzolites, harzburgites) in recent (Neogene–Quaternary) volcanoes have been studied in three localities within Syria: Jubates (North), Mhailbeh (Center), Tel Thannoun (South). P – T conditions of mineral equilibration have been estimated by pyroxene thermometry (temperature) and maximum CO_2 density in primary inclusions (minimum pressure). Pyroxenites equilibrate at significantly higher conditions (T about $1200\text{ }^\circ\text{C}$, $P > 15\text{ kbar}$) than lherzolites and harzburgites ($900 < T < 1100\text{ }^\circ\text{C}$, P between 10 and 15 kbar). All are within the spinel lherzolite field, whereas Cretaceous xenoliths originate within the garnet lherzolite field. **To cite this article:** A. Bilal, F. Sheleh, C. R. Geoscience 336 (2004).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : xénolithes ; thermométrie des pyroxènes ; inclusions carboniques ; Syrie

Keywords: xenoliths; pyroxene thermometry; CO_2 inclusions; Syria

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : bilka@scs-net.org (A. Bilal).

Abridged English version

Important volcanic eruptions have occurred in the Syrian Rift, from Permo-Trias until very recently (Quaternary), with two major events: Mesozoic (mainly Cretaceous) and Neogene (Tertiary–Quaternary). The composition of the lavas is variable, from primitive basanites to evolved tholeites, corresponding to a typical intraplate volcanism. Both Cretaceous and recent volcanoes occur in the same areas, indicating the existence under the Syrian Rift system of a mantle ‘hot spot’, whose geographical position has not significantly changed since Cretaceous times. Some volcanoes contain numerous xenoliths, most of them ultrabasic (mantle-derived), against fewer garnet-rich, infracrustal granulites. Ultrabasic xenoliths from recent volcanoes located at three sites covering the whole Syrian territory (from north to south, Jubates, Mhailbeh, Tel-Thannoun, respectively) (Fig. 1) have been studied in detail. They correspond to three petrographical types (pyroxenites, lherzolites, harzburgites) with granular to protogranular texture. Most samples, especially pyroxenites, contain CO₂-bearing fluid inclusions, either secondary (related to the host basalts), or primary, containing then a high-density fluid (Fig. 2). Minimal *P–T* conditions of mineral equilibration have been investigated by pyroxene thermometry, for the temperature, and, for the pressure, from the maximal density of primary CO₂ inclusions. Results (Table 1 and Fig. 3) indicate a regular evolution within the spinel lherzolite field, with significantly higher values for pyroxenites ($T \sim 1200^\circ\text{C}$, $P > 15$ kbar) than for lherzolites and harzburgites ($900 < T < 1100^\circ\text{C}$, P between 10 and 15 kbar). By analogy with other occurrences, mineral composition and rock texture suggest that pyroxenites could correspond to magmatic cumulates, whereas lherzolites and especially harzburgites could be residuals after partial melting. All have been generated within the spinel lherzolite stability field, whereas literature data, notably the occurrence in some Cretaceous lavas of few garnets with kimberlitic affinities, indicate a deeper source for the Cretaceous volcanism, within the garnet lherzolite stability field. These data seem to indicate that the apex of the immobile ‘hot spot’ under the Syrian Rift system has been considerably uplifted between Cretaceous and present times.

1. Introduction

En continuation directe du rift de la mer Morte, le Rift syrien, qui délimite une étroite bande côtière en Syrie–Liban (Fig. 1), fait partie du grand système de fractures qui, depuis le Rift africain, rejoint par le système de failles de Turquie l’ensemble Alpes–Himalaya. Ce domaine a été le siège de très nombreuses éruptions volcaniques, qui débutent au Permo-Trias et se poursuivent jusqu’à une période très récente (Néogène–Quaternaire). L’activité est restée relativement continue, avec toutefois deux paroxysmes majeurs : Jurassique supérieur et surtout Crétacé in-

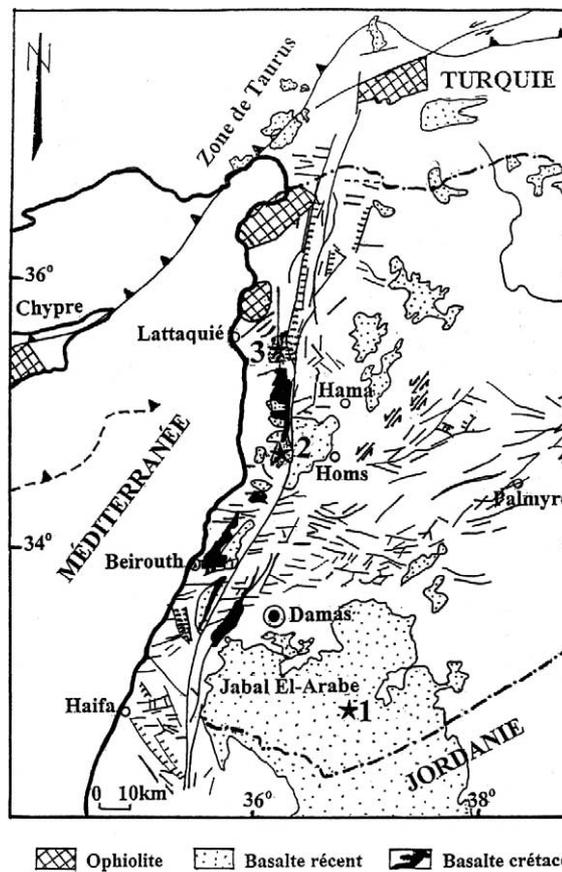


Fig. 1. Grands traits tectoniques du Rift syrien et volcanisme associé. 1 : Tel-Thannoun, 2 : Mhailbeh, 3 : Jubates.

Fig. 1. Major tectonic lines of the Syrian Rift and associated volcanism. 1: Tel-Thannoun, 2: Mhailbeh, 3: Jubates.

férieur (« basaltes crétacés » de la littérature [5,6,15]), et « volcanisme récent », débutant à la fin du tertiaire (Néogène) et se poursuivant au Quaternaire [13]. Les points d’affleurement se recouvrent partiellement, si bien que certains gisements, surtout dans la région de Homs–Hama, sont étroitement imbriqués sur le terrain. Toutefois, le volcanisme récent est moins directement lié au tracé du rift, grand système de faille nord–sud qui, au nord de Lattaquié, donne de spectaculaires grabens d’effondrement, d’une largeur de quelques kilomètres.

La carte schématique des affleurements (Fig. 1) montre que les volcans d’âge Crétacé sont très proches de la faille majeure du rift, alors que les centres d’émission du volcanisme récent, qui couvrent des surfaces beaucoup plus étendues, peuvent s’en écarter sensiblement, étant surtout situés sur des failles annexes formant un réseau complexe, grossièrement orthogonal aux fractures principales. Au sud de Damas, ce volcanisme récent constitue, en particulier, le grand massif du Jabal el Arabe, qui couvre tout le sud de la Syrie et s’étend, au-delà, dans toute la partie nord de la Jordanie. Plus au nord, on peut distinguer les édifices de moyenne importance de la région de Homs–Hama, qui s’étendent sur une large bande orientée NE–SW, parallèlement aux accidents cisailants limitant au nord l’inflection de la chaîne de Palmyre, et les petits massifs des « Jubates », à l’est et au nord de Lattaquié, souvent situés au fond de dépressions circulaires au sein de massifs calcaires d’âge Jurassique–Crétacé. Ce mode d’affleurement assez particulier a pu faire croire à certains auteurs (Ponikarov [14]) qu’il s’agissait de brèches d’explosion, et la découverte fortuite de grenats a même alimenté une certaine controverse sur la comparaison possible avec des kimberlites et l’existence possible de diamants, prétendument identifiés dans le Nord du pays par des géologues intéressés [9,15]. En fait, les études ultérieures ont montré qu’il s’agissait simplement de microcoulées basaltiques dans des dolines de dissolution des calcaires [16], et que l’essentiel des grenats dans les roches du volcanisme récent provenaient d’enclaves infracrustales (granulites), trop superficielles pour avoir la moindre chance de renfermer du diamant [3].

2. Les enclaves du volcanisme récent : pétrographie

Un petit nombre de volcans, crétacés aussi bien que récents, contiennent de nombreuses enclaves, presque toutes de composition ultrabasique. Les laves et enclaves du volcanisme Crétacé ayant fait l’objet de travaux relativement récents [11,17], ainsi que les enclaves infracrustales du volcanisme récent [3,13], le présent travail est consacré à l’étude d’enclaves ultrabasiques du volcanisme récent, à partir de gisements caractéristiques des trois ensembles définis ci-dessus : Tel-Thannoun, dans le grand massif du Jabal el Arabe (parfois dénommé Shama [13]) (1, Fig. 1), Mhailbeh, dans la région de Homs (2, Fig. 1) et Jubates à l’est de Lattaquié (3, Fig. 1). Ces données, détaillées dans la thèse de F. Sheleh [16], complètent et précisent les résultats publiés antérieurement [3].

La plupart des enclaves ont subi un début de fusion par thermométamorphisme au sein du basalte hôte, se marquant par de fines bandes de verre plus ou moins altéré et recristallisé (Fig. 2a). Nous avons choisi pour ce travail les échantillons pour lesquels cette fusion partielle est minimale, de façon à pouvoir interpréter correctement les caractéristiques pétrographiques primaires. Tous les échantillons étudiés, dont la composition modale est donnée dans le Tableau 1, correspondent à trois types pétrographiques : *lherzolite* (olivine, ortho- et clinopyroxène) (Fig. 2a), *harzburgite* (péridotite résiduelle, sans clinopyroxène) et *pyroxénites (webstérites)* (moins de 10% d’olivine, et présence systématique, en quantité à peu près équivalente, d’ortho- et clinopyroxènes). La texture est granulaire à protogranulaire [12], avec les minéraux accessoires (surtout spinelle) très souvent disposés aux points triples des joints intergranulaires des minéraux majeurs (olivine et pyroxènes). Beaucoup d’enclaves du Tel-Thannoun (au sud de Damas) contiennent une certaine quantité de minéraux hydroxylés (phlogopite et/ou amphibole) (Tableau 1). Ces minéraux sont en revanche extrêmement rares dans les échantillons provenant du Nord de la Syrie.

Ainsi qu’il a été décrit en détail dans plusieurs publications précédentes [2,3], toutes les enclaves étudiées contiennent, toutefois en quantité très variable, des inclusions fluides carboniques, remplies par du CO₂ pratiquement pur, de densité très variable (Fig. 2b et c). Ces inclusions, de couleur sombre, sont mono-

Tableau 1

Données analytiques des enclaves étudiées : Pression (minimale) (P en kbar, colonne 1), estimée d'après la densité maximale du CO_2 , déduite de la température minimale d'homogénéisation (colonnes 2 et 3), et la température des pyroxènes (température moyenne), colonne 4, entre le thermomètre de Bertrand–Mercier (colonne 5) et de Brey–Köhler (colonne 6). Colonnes 7 et 8 : composant calcique (mole %) des clino (Cpx)- et orthopyroxènes (Opx) coexistants. Dernières colonnes : type pétrographique et gisement

Table 1

Analytical data of investigated xenoliths. Minimal pressure (P in kbar, column 1) inferred from CO_2 maximal density, itself estimated from minimum Th (columns 2 and 3), and pyroxene thermometry. Column 4: average temperature, between Bertrand–Mercier (column 5) and Brey–Köhler (column 6). Columns 7 and 8: calcic component (mole%) of coexisting ortho- and clinopyroxene. Last columns: Petrological characteristics and occurrences

| P_{kbar} | Th° | Densité maximale g/cm ² | T_c° moyenne | $T_c^{\circ}\text{B}$ | $T_c^{\circ}\text{K}$ | Ca ^{Cpx} | Ca ^{Opx} | Type pétrographique | Composition minéralogique modale | Gisement | Minéraux hydroxylés exprimés |
|-------------------|---------------------|--|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------------|---|--------------|------------------------------------|
| 12.8 | −39 (17) à −15 (8) | 1.12 | 1155 | 1186 | 1124 | 0.76 | 0.05 | Lherzolite | 66% ol.+21% opx.+8% cpx.+5% sp. | Tel-Thannoun | |
| 11.6 | −38 (12) à −17 (6) | 1.115 | 1050 | 980 | 1120 | 0.79 | 0.05 | Lherzolite | 67% ol.+22% opx.+7% cpx.+2% sp. +2% Ph. | Tel-Thannoun | + Ph. |
| 10.3 | −39 (16) à −16 (5) | 1.12 | 888.5 | 974 | 803 | 0.94 | 0.03 | Lherzolite | 66% ol.+20% opx.+6% cpx.+2% sp.+4% Am.+2% Ph. | Tel-Thannoun | + Am., + Ph. |
| 11.9 | −37 (10) à −20 (8) | 1.10 | 1121.5 | 1128 | 1115 | 0.79 | 0.04 | Harzburgite | 90% ol.+6% opx.+2% sp.+2% Ph. | Tel-Thannoun | + Ph |
| 12 | −39 (10) à −25 (6) | 1.12 | 1121 | 1092 | 1150 | 0.73 | 0.04 | Harzburgite | 89% ol.+6% opx.+3% sp.+2% Am. | Tel-Thannoun | + Am. |
| 15.5 | −46 (8) à −25 (5) | 1.145 | 1287.5 | 1355 | 1220 | 0.68 | 0.04 | Pyroxénite | 48% opx.+40% cpx.+8% ol.+4% sp. | Tel-Thannoun | |
| 15.2 | −45 (8) à −24 (6) | 1.14 | 1285.5 | 1264 | 1307 | 0.77 | 0.03 | Pyroxénite | 44% opx.+42% cpx.+9% ol.+6% sp. | Tel-Thannoun | |
| 10.6 | −37 (4) à −25 (8) | 1.10 | 993 | 975 | 1011 | 0.87 | 0.05 | Lherzolite | 60% ol.+21% opx.+5% cpx.+3% sp.+6% Am.+5% Ph. | Mhailbeh | |
| 11.2 | −36 (4) à −25 (6) | 1.09 | 1110 | 1040 | 980 | 0.70 | 0.01 | Lherzolite | 65% ol.+22% opx.+9% cpx.+4% sp. | Mhailbeh | |
| 10.4 | −37 (6) à −23 (10) | 1.10 | 927 | 1039 | 815 | 0.87 | 0.03 | Lherzolite | 69% ol.+21% opx.+7% cpx.+3% sp. | Mhailbeh | |
| 11.3 | −35 (8) à −24 (6) | 1.08 | 1027 | 1081 | 973 | 0.74 | 0.04 | Lherzolite | 71% ol.+20% opx.+6% cpx.+3% sp. | Mhailbeh | |
| 15.2 | −47 (16) à −30 (10) | 1.15 | 1280 | 1260 | 1300 | 0.65 | 0.03 | Pyroxénite | 50% opx.+37% cpx.+8% ol.+6% sp. | Mhailbeh | |
| 14.9 | −46 (14) à −24 (6) | 1.145 | 1196.5 | 1205 | 1188 | 0.68 | 0.07 | Pyroxénite | 45% opx.+41% cpx.+8% ol.+3% sp.+6% sp. | Mhailbeh | |
| 15.5 | −47 (15) à −25 (4) | 1.15 | 1238 | 1257 | 1219 | 0.65 | 0.07 | Pyroxénite | 44% opx.+43% opx.+8% ol.+5% sp. | Mhailbeh | |
| 15.5 | −47 (15) à −22 (5) | 1.15 | 1272 | 1356 | 1188 | 0.65 | 0.04 | Pyroxénite | 48% opx.+41% opx.+8% ol.+3% sp. | Mhailbeh | |
| 13.5 | −35 (15) à −8 (4) | 1.08 | 1160 | 1235 | 1085 | 0.86 | 0.04 | Lherzolite | 72% ol.+20% opx.+5% cpx.+3% sp. | Jubates | |
| 12.9 | −33 (12) à −6 (2) | 1.075 | 1100 | 1099 | 1111 | 0.78 | 0.04 | Lherzolite | 69% ol.+21% opx.+6% cpx.+4% sp. | Jubates | |
| 11.2 | −35 (14) à −10 (8) | 1.08 | 931.5 | 985 | 878 | 0.83 | 0.02 | Lherzolite | 70% ol.+21% opx.+6% cpx.+3% sp. | Jubates | |
| 15.4 | −45 (15) à −20 (8) | 1.14 | 1261 | 1325 | 1197 | 0.72 | 0.04 | Pyroxénite | 50% cpx.+33% opx.+10% ol.+4% sp. | Jubates | |
| 15.2 | −44 (8) à −16 (6) | 1.13 | 1165 | 1200 | 1130 | 0.75 | 0.05 | Pyroxénite | 45% cpx.+44% opx.+6% ol.+8% sp. | Jubates | |

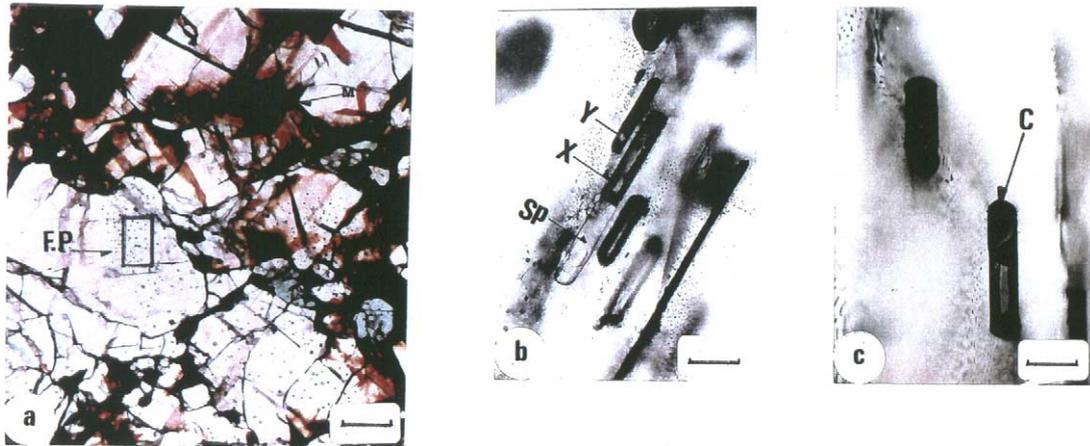


Fig. 2. **a.** Microphotographie d'une lherzolite (premier échantillon Tel-Thannoun, Tableau 1). Bandes sombres : filonets de verre produits par thermométamorphisme du basalte encaissant. F.P. = emplacement des inclusions fluides en **b** et **c**. Barre : 0,05 mm. **b** et **c** : inclusions carboniques dans orthopyroxène. **b.** X et Y = CO₂ supercritique (*Th* de l'ordre de -15°C), sp : spinelle. **c.** C = carbonate emprisonné dans l'inclusion. Barre : 20 μm .

Fig. 2. **a.** Microphotograph of a lherzolite (first sample Tel-Thannoun, Table 1). Dark bands = glass veinlets produced by thermometamorphism of the enclosing basalt. F.P.: location of the fluid inclusions shown in **b** and **c**. Bar: 0.05 mm. **b** and **c**: carbonic inclusions in orthopyroxene. **b.** X and Y: supercritical CO₂ (homogenization temperature about -15°C), sp = spinel. **c.** C = carbonate crystal within the inclusion cavity. Bar: 20 μm .

phasées gazeuses à température ordinaire, mais montrent au refroidissement l'apparition soudaine d'une bulle (transition liquide/gaz) pour des températures de l'ordre de -50 à -70°C . Cette transition est métastable, car l'homogénéisation, toujours en phase liquide (disparition progressive de la bulle gazeuse) se produit à des températures beaucoup plus élevées, depuis un minimum un peu supérieur à -50°C (-47 , Tableau 1) et jusqu'à un maximum de $+31^{\circ}\text{C}$ [3], température critique du CO₂ pur. En fonction du mode de gisement et surtout de la densité du fluide inclus, deux types d'inclusions peuvent être distingués, comme dans toutes les enclaves mantelliques remontées par les basaltes alcalins : les inclusions tardives secondaires (disposées suivant des fissures recristallisées), étroitement associées aux bandes intergranulaires de refusion des enclaves, dont la température d'homogénéisation est proche du point critique du CO₂ ($> +15^{\circ}\text{C}$) [3] et des inclusions précoces, plus rares et, en général, plus petites, primaires par rapport à certains minéraux majeurs de l'enclave. D'une façon générale, les inclusions primaires contiennent un fluide plus dense, avec des températures d'homogénéisation négatives. Ces inclusions précoces sont (relati-

vement) plus abondantes dans les clinopyroxènes, où elles affectent souvent la forme de tubes allongés, parallèles aux traces d'exsolution souvent visibles dans ce minéral (Fig. 2b et c). Dans certains cas, il a pu être montré que ces inclusions carboniques sont étroitement liées à l'exsolution de cristaux de spinelle dans le pyroxène (Fig. 2b). Dans les olivines, ces inclusions précoces, très rares, ont plutôt une forme globulaire, proche de celle d'un cristal négatif. En refroidissant au-delà de -100°C , il est possible de solidifier le fluide inclus, qui fond à une température proche du point triple du CO₂ pur ($-56,6^{\circ}\text{C}$). Des différences significatives (jusqu'à 2°C) ont été observées, mais qui concernent exclusivement les inclusions de faible densité. Aucun composant autre que CO₂ n'a pu être mis en évidence par microspectrométrie Raman (analyses effectuées au laboratoire de microanalyse, VU Amsterdam, E.A.J. Burke, an.), et la cause de ces variations reste énigmatique (fusion métastable, présence de composés Raman inactifs, comme les gaz rares ?). Ces perturbations n'affectent pas le contenu des inclusions primaires de forte densité, qui peut être considéré comme du CO₂ parfaitement pur.

3. Conditions P – T de formation des enclaves

Toutes les roches étudiées contenant ortho- et clinopyroxène (même les péridotites résiduelles, comme les harzburgites) contiennent quelques pour-cent de clinopyroxène, si bien que l'on peut estimer les températures par le « thermomètre des pyroxènes », avec les problèmes inhérents à cette technique : différences de calibrage entre les différents protocoles [1,4,10,18], inhomogénéités (notamment exsolution) des minéraux analysés. Ces difficultés sont minimisées en analysant des plages aussi homogènes que possible, et en utilisant les deux thermomètres les plus récents (B = Bertrand & Mercier [1], K = Brey & Köhler [4,10], d'autant que le thermomètre de Wells [18] donne des résultats sensiblement comparables à B.

L'estimation des pressions est plus difficile. En l'absence de grenats, il n'existe pas de baromètre minéral directement utilisable. Nous avons montré précédemment [3] que, dans le cas présent, la meilleure estimation de la valeur minimale des pressions était donnée par la densité maximale des inclusions carboniques primaires, couplée à la température des pyroxènes.

Les résultats obtenus pour les vingt échantillons analysés dans le présent travail sont reportés dans le Tableau 1. Cet échantillonnage a été défini de façon à compléter les résultats précédemment obtenus, et surtout à vérifier si les différences entre péridotites et pyroxénites, qui n'étaient que suggérées par les analyses précédentes, étaient réelles. Il a donc été décidé de concentrer les analyses sur les trois massifs principaux (Tel-Thannoun, Mhailbeh, Jubates), avec un nombre d'échantillons comparable pour chaque massif (6 à 8) et, surtout, une proportion comparable de pyroxénites (2 à 3) par rapport aux péridotites dans chaque massif. Cette dernière condition a été la plus difficile à réaliser, dans la mesure où, en général, les enclaves de pyroxénites sont beaucoup plus rares que les péridotites.

4. Interprétation : évolution du point chaud sous le système du Rift syrien

Les résultats obtenus confirment effectivement les hypothèses antérieures [3]. Dans chaque massif, les minéraux des pyroxénites sont équilibrés à des valeurs

P – T sensiblement supérieures à celles enregistrées pour les péridotites. Les températures sont pratiquement en continuité (1100–1300 °C pour les pyroxénites, 900–1100 °C pour les péridotites) mais, comme la densité maximale du CO₂ dans les inclusions fluides primaires est également légèrement plus élevée dans les pyroxénites, les pressions sont assez nettement différentes : 14–15,5 kbar pour les pyroxénites, contre 10–13,5 kbar pour les péridotites.

En revanche, les variations régionales que suggéraient certains résultats précédents (légère diminution des conditions P – T du sud vers le nord) ne sont pas confirmées. Une péridotite des Jubates donne certes les pressions les plus faibles (13,8 kbar), mais pour deux autres échantillons du même gisement, les pressions sont supérieures à 15 kbar. Ces valeurs des pressions sont minimales, tant en raison du risque de perturbation (défaut d'étanchéité des inclusions) que du fait que, en raison de la présence fréquente de minéraux hydroxylés, une certaine valeur de pression d'eau doit être ajoutée à la pression du CO₂. Toutefois, ces deux paramètres tendent à se compenser, puisque tout défaut d'étanchéité entraînera une baisse de pression, alors qu'une pression d'eau additionnelle l'augmentera. Le fait que les résultats analytiques dessinent une tendance évolutive cohérente dans le diagramme P – T (Fig. 3) tend à indiquer que ces perturbations sont mineures, et que l'on peut admettre ces résultats, au moins en première approximation. On peut alors en déduire les conclusions suivantes.

- Toutes les enclaves du volcanisme récent sont équilibrées dans le champ des lherzolites à spinelle (Fig. 3), en bon accord avec les résultats d'autres travaux [13]. La présence sporadique de grenats dans certaines enclaves s'explique donc par une composition pétrographique particulière, soit ignée (webstérite), soit surtout métamorphique (granulites infracrustales [3]). En revanche, certaines enclaves du volcanisme crétacé ont cristallisé dans le champ des lherzolites à grenat [15]. On aurait donc une remontée très significative de l'apex du point chaud situé sous le système du Rift syrien [17], depuis le Crétacé jusqu'à nos jours.
- De façon assez remarquable, les pyroxénites se trouvent au-dessus du solidus des webstérites à

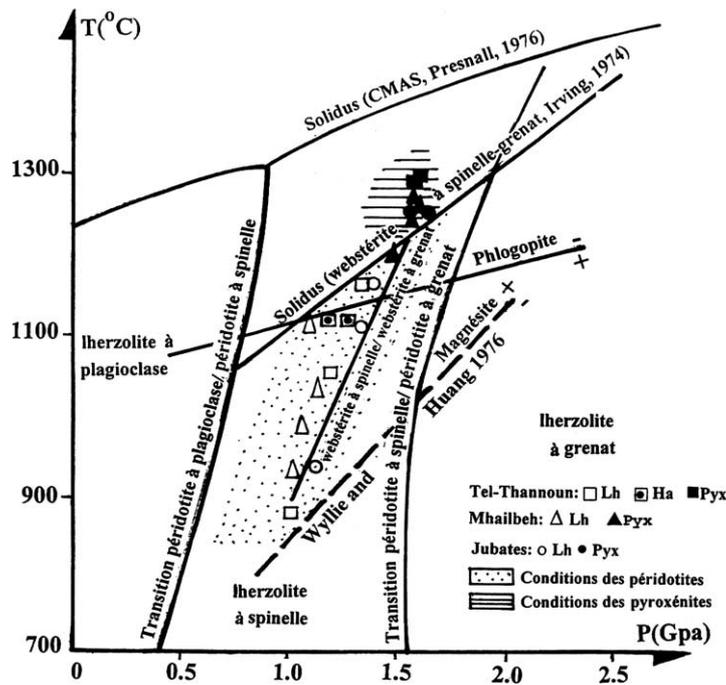


Fig. 3. Conditions P – T définies par les enclaves étudiées (données du Tableau 1). Lh = Iherzolite, Ha = harzburgite, Pyx = pyroxénite.

Fig. 3. P – T conditions defined by the investigated xenoliths (data from Table 1). Lh = Iherzolite, Ha = harzburgite, Pyx = pyroxenite.

spinnelle–grenat (Fig. 3), alors que toutes les péridotites (Iherzolites et harzburgites) sont équilibrées sous le solidus du système CMAS (Fig. 3). Ces résultats sont compatibles avec l'hypothèse couramment exprimée [8,19] selon laquelle les pyroxénites correspondraient à des cumulats magmatiques, alors que Iherzolites et harzburgites représenteraient plutôt des résidus d'une fusion partielle. Il ne s'agit toutefois que d'hypothèses, qui demandent à être confirmées par des études géochimiques détaillées (modélisation des éléments en trace).

Les données concernant les conditions de formation des minéraux ou phases volatiles (phlogopite, inclusions carboniques) ne sont pas claires. Le champ d'équilibre des enclaves traverse la courbe d'apparition du phlogopite, ce qui rend bien compte de sa présence sporadique dans certaines enclaves. Pour le CO_2 , on est certes situé dans le domaine où les premiers carbonates mantelliques (magnésite, dolomite) pourraient être stables (Fig. 3), mais l'absence quasi

systématique de carbonates primaires dans la plupart des enclaves mantelliques est un fait bien connu, qui demanderait toutefois à être ré-évalué à la lumière de récentes observations dans les phases solides préservées au sein de certaines inclusions fluides [7], ainsi que sur la présence quasi systématique de magmas carbonatitiques dans les domaines de métasomatisme mantellique [8]. Nous n'avons pas pour le moment d'explication précise pour ce problème, et ne pouvons que suggérer que les réactions réelles sont probablement plus complexes que ne le laissent penser les résultats expérimentaux, de sorte que la déstabilisation des phases carbonatées en CO_2 pourrait se produire à des pressions, donc à des profondeurs beaucoup plus élevées que ne l'indique la courbe de la Fig. 3. L'origine de ces volatils reste aussi mystérieuse : elle est sans doute métasomatique, comme on l'observe de plus en plus dans tous les volcanismes de point chaud [8], mais suivant des modalités qui ne pourraient être cernées qu'au terme d'une étude géochimique complète de ces enclaves.

Remerciements

Nous remercions J.-Y. Cottin et M. Grégoire qui, par leurs remarques judicieuses, nous ont aidés à améliorer notablement la qualité de ce travail.

Références

- [1] P. Bertrand, J.C.C. Mercier, The mutual solubility of ortho and clinopyroxene: towards an absolute geothermometer for the natural system?, *Earth Planet. Sci. Lett.* 76 (1986) 109–122.
- [2] A. Bilal, Les inclusions fluides des roches de la croûte continentale inférieure et du manteau supérieur, thèse d'État, université Paris-7, 1978, 321 p.
- [3] A. Bilal, J.L.R. Touret, Les enclaves du volcanisme récent du rift Syrien, *Bull. Soc. géol. France* 172 (1) (2001) 1–14.
- [4] G.P. Brey, T. Kohler, Geothermometry in four phases lherzolites. II. New thermometers and practical assessment of existing thermometers, *J. Petrol.* 31 (1990) 1353–1378.
- [5] L. Dubertret, Études des régions volcaniques du Haouran, du Djebel Druz et du Diret el Jaboul (Syrie), *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dynam.* 2–4 (1929) 275–321.
- [6] L. Dubertret, Les grandes nappes basaltiques syriennes : Âge et relations avec la tectonique, *C. R. somm. Soc. géol. France* 3 (1933) 178–180.
- [7] M.L. Frezzotti, J.L.R. Touret, E.R. Neumann, Ephemeral carbonate melts in the upper mantle: carbonate–silicate immiscibility in microveins and inclusions within spinel peridotite xenoliths, La Gomera, Canary Islands, *Eur. J. Miner.* 14 (5) (2002) 891–904.
- [8] M. Grégoire, B.N. Moine, S.Y. O'Reilly, J.-Y. Cottin, A. Giret, Trace-element residence and partitioning in mantle metasomatism by high alkaline silicate and carbonate-rich melts (Kerguelen islands, Indian Ocean), *J. Petrol.* 41 (3) (2000) 477–509.
- [9] S.E. Haggerty, S. Field, M.S. Nagieb, Rift-induced diamond diatremes in the Arabian plate (Abst.), *Eos. Am. Geophys. Un.* 68 (44) (1987) 12.
- [10] T.P. Kohler, G.P. Brey, Calcium exchange between olivine and clinopyroxene calibrated as a geothermometer for natural peridotites from 2 to 60 kbar with applications, *Geochim. Cosmochim. Acta* 54 (1990) 2375–2388.
- [11] E. Laws, M. Wilson, Tectonics and magmatism association eight mesozoic passive continental margin development in the Middle East, *J. Geol. Soc. Lond.* 154 (1997) 459–464.
- [12] J. Mercier, A. Nicolas, Textures and fabrics of upper mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts, *J. Petrol.* 16 (1975) 454–487.
- [13] S. Nasir, A. Safarjalani, Lithospheric petrology beneath the northern part of the Arabian Plate in Syria; evidence from xenoliths in alkali basalts, *J. Afr. Earth Sci.* 30 (1) (2000) 149–168.
- [14] P. Ponikarov, The Geology of Syria: Explanatory notes on the geological map of Syria, scale 1:100 000, Ministry of Industry, Syria, 1966, 15 p.
- [15] Ye.V. Sharkov, Ye.Ye. Laz'ko, S. Hanna, Plutonic xenoliths from the Nabi Matta explosive center, Northwest Syria, *Geochem. Int.* 30 (4) (1993) 23–44.
- [16] F. Sheleh, Étude des enclaves mantéliques associées au Rift syrien ; composition et évolution du manteau supérieur en Syrie. Implications géodynamiques et régionales, thèse, université de Damas, 2001, 180 p. (en Arabe).
- [17] M. Stein, A. Hofman, Fossil plume head beneath the Arabian lithosphere?, *Earth Planet. Sci. Lett.* 114 (1992) 193–209.
- [18] P.R.A. Wells, Pyroxene thermometry in simple and complex systems, *Contrib. Mineral. Petrol.* 62 (1977) 129–139.
- [19] M. Wilson, *Igneous Petrogenesis, a Global Tectonic Approach*, Vol. 1, Unwin Hyman, London, 1989, 466 p.