

PETROGRAPHIE, MINERALOGIE ET GEOCHIMIE DE LA SERIE VOLCANO- PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIERE ANTICLINALE DE LA SEBKHAT EL MELAH (CHAÎNES DE L'OUGARTA, SW ALGERIEN).

El Hadi CHERFOUH*, Aziouz OUABADI et Amina LOUNI HACINI****

RESUME

La région de Sebkhata el Melah, partie intégrante du soubassement précambrien des chaînes de l'Ougarta (SSW algérien), se présente sous forme d'une vaste boutonnière anticlinale dont le cœur est constitué par un ensemble de coulées andésito-basaltiques, qui surmonte un complexe volcano-sédimentaire recoupé par des dykes de dolérites et des sills de microgabbros-syérites.

Les minéraux prédominants des roches volcaniques et plutoniques sont représentés par le clinopyroxène et le plagioclase, auxquels s'associent, selon les faciès, l'olivine, l'orthopyroxène et le feldspath potassique.

L'ensemble a subi, postérieurement à sa mise en place, un processus d'altération hydrothermale associé à un métamorphisme de bas degré type schistes verts, se traduisant par la cristallisation de serpentine, chlorite, calcite, épidote, préhnite, et pumpellyite.

Les différentes roches présentent un caractère basique et intermédiaire, dont l'affinité calco-alkaline est marquée par des taux relativement élevés en alumine (13 à 19.43%) et faibles en titane (0.33 à 1.72%).

Une telle affinité est confirmée par les spectres de terres rares qui montrent un enrichissement en LREE jusqu'à 70x chondrites.

Le magmatisme de Sebkhata el Melah serait guidée par un processus de cristallisation fractionnée à partir d'une source mantellique, préalablement enrichie en terres rares légères et autres éléments incompatibles. A l'instar de son équivalent occidental (Oued Damrane), de la série de Ouarzazate (Anti-Atlas) ou des rhyolites de In Zize (Hoggar occidental), ce magmatisme résulte de la collision, à la fin de l'événement thermo-tectonique panafricain (600 Ma), entre le bouclier touareg et la marge passive du craton ouest africain.

Mots clés - Sebkhata el Melah - Magmatisme - Terres rares - Panafricain.

* Service Géologique de l'Algérie, BP 102 Boumerdés, Algérie.

** FSTGAT, USTHB, Bab Ezzouar Bp 32 El Alia Alger.

- Manuscrit déposé le 03 Décembre 2001, accepté après révision le 07 Avril 2002

PETROGRAPHY, MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE VULCANO-PLUTONIC SERIE OF SEBKHAT EL MELAH ANTICLINE INLIER (OUGARTA CHAINS, ALGERIAN SW).

ABSTRACT

Sebkhat el Melah area, southernmost of Ougarta chains (Algerian SSW), is presented the form of a vast anticline inlier whose core is formed by an important paleo-volcanic serie supposed of Neoproterozoic age. This serie is primary represented by a whole of andesito-basaltic flows which surmount a volcano-sedimentary complex tardily intruded by some dikes of dolerites and some micro-gabbro-syenite sills.

The petrographic study shows that the predominant minerals of plutonic and volcanic rocks are represented by the clinopyroxene and the plagioclase to which are associated, according to the facies, olivine, orthopyroxene and potassic feldspath. The whole has undergone, subsequently to its setting, a hydrothermal alteration process associated to a low level metamorphism of green schiste type resulting in the crystallization of serpentine, chlorite, calcite, epidote, prehnite and pumpellyite.

The various rocks show an intermediate and basic character, whose calc-alkaline affinity is marked by relatively high level of alumina (13-19.43 %) and low in titanium (0.33-1.72 %) such an affinity is confirmed by rare earth spectra which show a LREE enrichment up to 70x chondrites.

Sebkhat el Melah magmatism would be guided by a fractional crystallization process split from a mantellic source, beforehand enriched by light rare earths and other incompatible elements. Likewise its western equivalent (Oued Damrane), of Ouarzazate serie (Moroccan Anti-Atlas) or of In Zize rhyolites (western Hoggar), this magmatism result from a collision process at the tardy pan african thermo-tectonics event (600 Ma), between the touareg shield and the passive margin of the western african craton.

Key words - Sebkhat el Melah - Magmatism - Rare earths - Panafrican.

INTRODUCTION

La région de Sebkhat el Melah constitue la terminaison méridionale des chaînes de l'Ougarta. En dehors du levé d'une carte géologique à 1/300 000 dans laquelle sont précisées les principales formations volcano-plutoniques constitutives du soubassement précambrien (Caby, in Conrad, 1969), cette région n'a fait l'objet d'aucune étude pétrologique et a été longtemps assimilée à la continuité de la série verte du Hoggar occidental (Caby, 1970).

A travers une approche pétrographique, minéralogique et géochimique, il s'agira de préciser l'affinité et les conditions de genèse de ce mag-

matisme, dans une zone particulière ayant subi la double influence des orogénèses panafricaine hercynienne.

CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Les chaînes de l'Ougarta, partie nord-occidentale de la plate-forme saharienne, se situent en position intracratonique entre deux domaines d'âges différents:

le Craton ouest africain à l'Ouest, stable depuis 2 Ga et le bouclier touareg au Sud-Est dont la partie occidentale a enregistré les principales phases de l'orogénèse panafricaine (600Ma).

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)

Le contact entre ces deux domaines se fait suivant une ligne de *suture panafricaine* interprétée comme le résultat d'un processus de collision à la fin de l'orogène panafricaine.

D'un point de vue lithologique, le soubassement précambrien de l'Ougarta *s.l* apparaît sous forme de boutonnières d'érosion au cœur des anticlinaux, en particulier dans le faisceau de la Saoura au NE (Sebkhat el Melah, massifs de Bou Khbaïssat, Bet Touaris et Guettara), et le faisceau de la Daoura au SW (Dj. Ben Tadjine, Kahal Tabelbala) (fig.1).

Ce soubassement, présumé d'âge Néoproterozoïque, est constitué essentiellement par un ensemble volcano-sédimentaire et volcanique, surmonté en discordance par une puissante série paléozoïque plissée par le biais d'un conglomérat de base connu sous le nom de "conglomérat de Ben Tadjine" (Chikhaoui, 1971).

L'essentiel de la structuration du bâti ougartien s'est réalisé au cours de l'événement hercynien, se traduisant dans la série paléozoïque par des plis anticlinaux, de direction majeure NW-SE et E-W. Ces plis sont guidés par les grandes fractures du socle dont le jeu est essentiellement vertical et décrochant. Ils sont associés à un réseau de diaclases qui passe dans les noyaux antécambriens à une schistosité de fracture (Donzeau, 1971-1974).

LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA REGION ETUDIEE

La boutonnière anticlinale de Sebkhat el Melah s'allonge, suivant une direction NW-SE, sur une longueur de 45 km pour une largeur variable de 4.5 à 9 km.

Au cœur de la structure affleure une importante série volcano-plutonique, circonscrite:

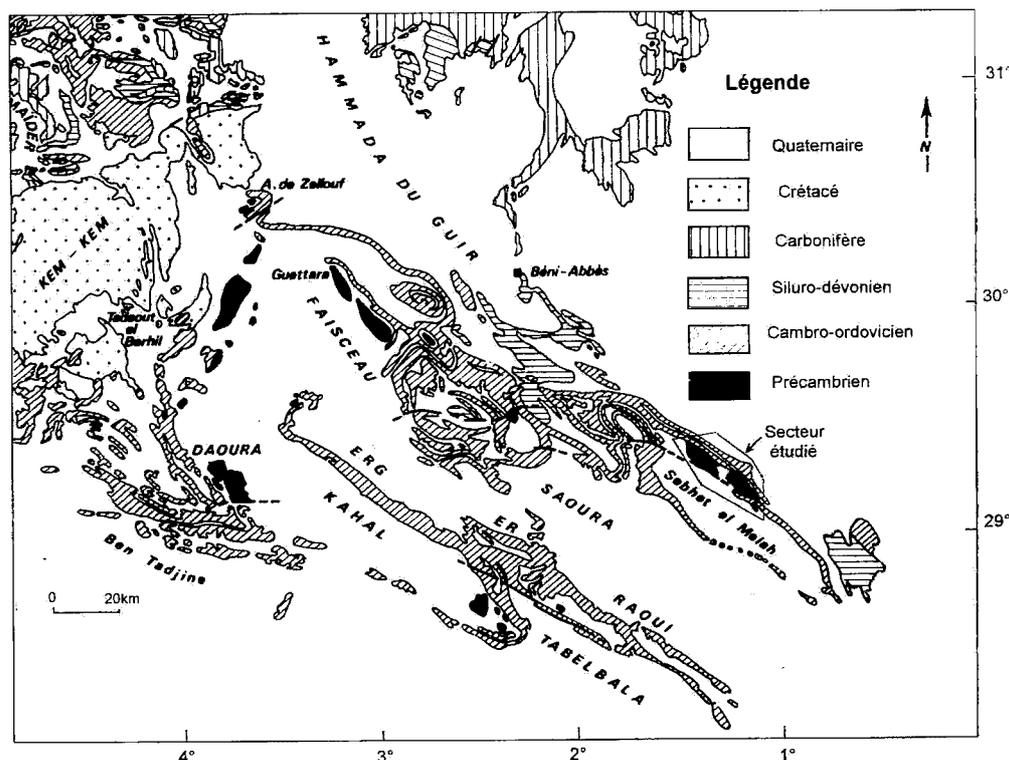


Fig. 1 - Situation géologique des chaînes de l'Ougarta. D'après carte géologique à 1/2000 000 Maroc-Algérie ouest
Geological Setting of the Ougarta chains. According to geological map Morocco- western Algeria

- au Nord, par une série paléozoïque, dont la base est constituée par la formation arkosique de Sebkhath el Melah d'âge Cambrien;

- au Sud, les sables dunaires de l'Erg el Atchane.

Le levé géologique (fig.2), appuyé par des coupes transversales (fig.3), montre que la série de Sebkhath el Melah est circonscrite par deux accidents majeurs de direction N140° qui lui confère un aspect sigmoïdal. Elle est essentiellement constituée par un puissant complexe volcano-sédimentaire surmonté par un ensemble volcanique aérien à dominante andésito-basaltique et andésitique. Sur le terrain, le contact entre les deux ensembles est invisible et masqué par des alluvions quaternaires.

Le complexe volcano-sédimentaire

Il est constitué d'alternances de niveaux centimétriques de greywackes rouges et verts, d'extension plurikilométrique, dont la direction générale est N100 à N120°.

Les greywackes constituent des bancs homogènes parfois feuilletés, redressés d'un angle voisin de 70°. Ils montrent des passées discontinues de tufs bruns ou verts, caractéristiques d'un volcanisme de type explosif.

L'ensemble est tardivement recoupé par des dykes de dolérites, d'andésites, et des sills de microgabbros-syéénites.

L'ensemble volcanique

Il est représenté par les formations andésito-basaltique et andésitique, dépourvues d'enclaves magmatiques ou métamorphiques.

- *La formation andésito-basaltique* affleure à l'Ouest à environ 8km de la terminaison périclinale, sous forme de dôme constitué par une succession de coulées étalées sur une surface réduite d'environ 15 km². Ces coulées sont caractérisées par l'association de deux faciès:

* un faciès gris-bleuté d'affinité basaltique, à phénocristaux de plagioclase abondants, visibles à l'oeil nu;

* un faciès rubéfié, d'affinité andésitique, à nombreuses cavités remplies de chlorite fibreuse.

-*La formation andésitique* affleure au Sud de la structure anticlinale, sous forme de reliefs lenticulaires arasés, de dimension réduite. La roche, de couleur noire due à la ferruginisation, montre une multitude de fissures remplies de calcite.

Les roches filoniennes

Elles sont représentées essentiellement par des dykes de dolérites et d'andésites ainsi que des sills de syéénites associés à des microgabbros. Ces roches se localisent dans le complexe volcano-sédimentaire sans atteindre l'ensemble volcanique supérieur.

Les dykes de dolérites sont verticalisés et orientés suivant trois directions principales: N100 à N110°, N25°, N45°. Ils montrent une multitude de fissures remplies de veinules de calcite, d'épidote et d'oxydes de fer.

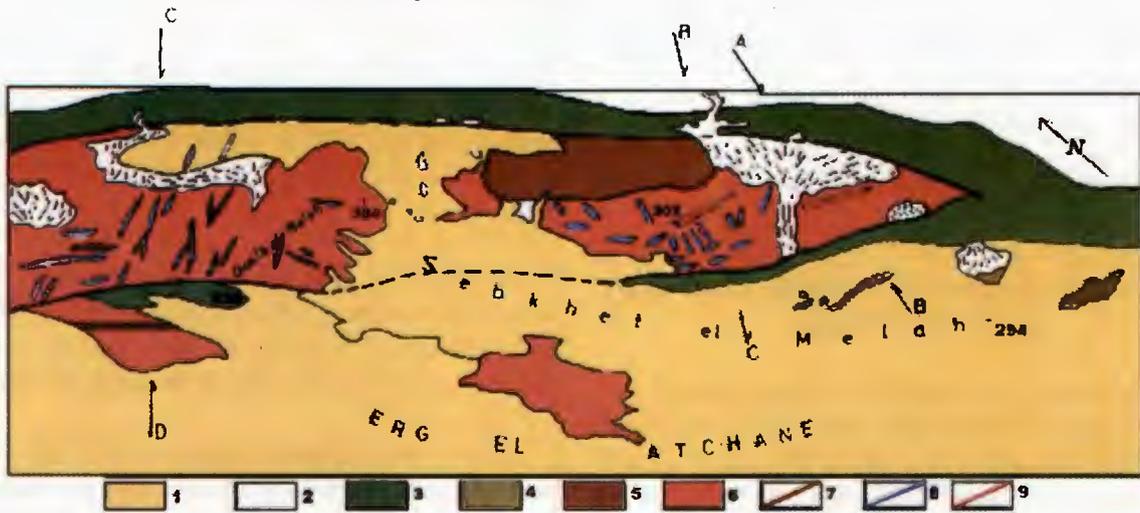
Les syéénites, de direction générale N100°, sont en contact avec des lentilles discontinues de microgabbros de teinte verte, tachetée d'oxydes de fer. L'absence de recristallisations ou de métamorphisme de contact aux limites des deux faciès suppose une mise en place simultanée ou du moins rapprochée, dans le temps, des deux faciès.

PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE

Identification des principaux types pétrographiques

L'étude microscopique d'échantillons représentatifs des différentes roches volcaniques et plutoniques, a permis, au delà des perturbations engendrées par l'altération *s.l.*, de mettre en évidence trois (03) ensembles pétrographiques distincts:

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)



- | | | |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 - Quaternaire actuel | 4 - Formation andésitique | 7 - Dykes andésitiques |
| 2 - Eboulis | 5 - Formation andisito-basaltique | 8 - Dykes de dolorites |
| 3 - cambrien | 6 - Complexe volacno-sédimentaire | 9 - Sills de microgabbro-syérites |

Fig. 2 - Carte géologique schématique des affleurements volcano-plutoniques de la région de Sebkhah el Melah (Caby, 1969; modifiée). Echelle : 1/80 000

Diagrammatic geological map of the volcano-plutonic outcrops of Sebkhah el Melah area (Caby, 1969; modified). Scale: 180 000.

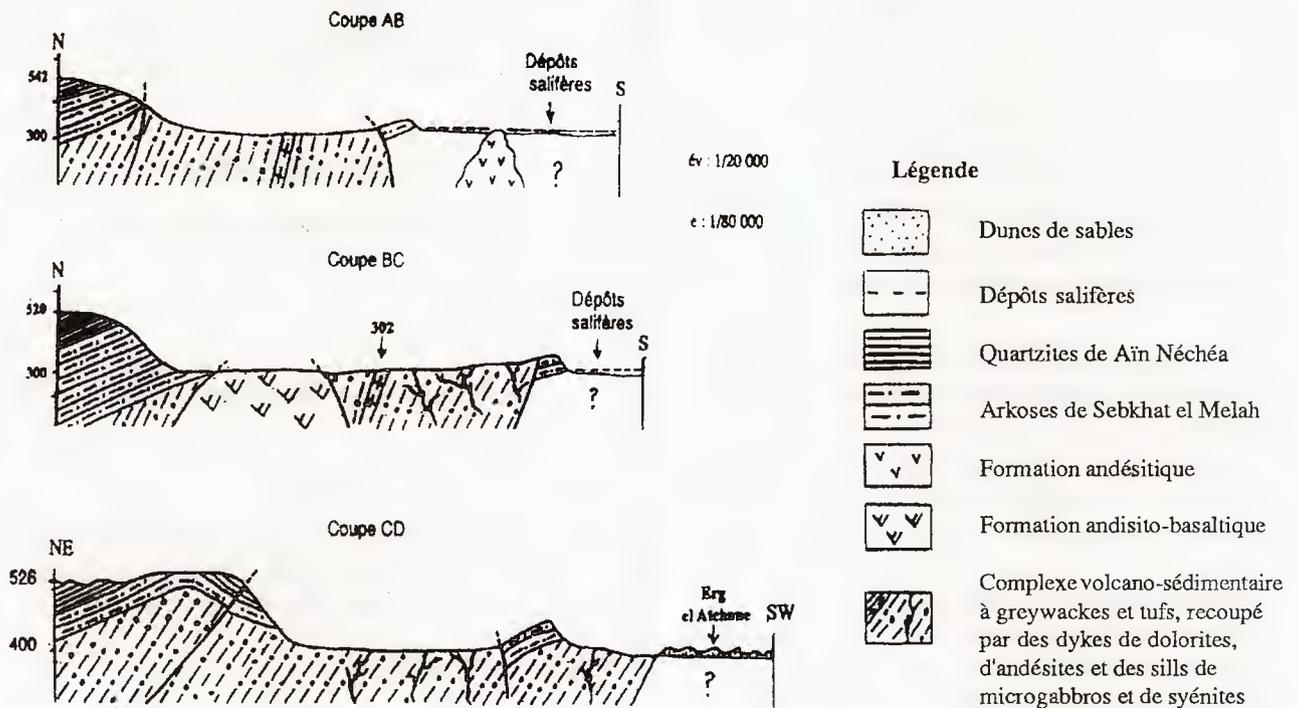


Fig. 3 - Coupes géologiques levées le long de la structure anticlinale de Sebkhah el Melah
Geological cuts raised along the anticline construction of Sebkhah el Melah

- les roches de coulées andésito-basaltiques et andésitiques;
- les roches filoniennes;
- les pyroclastites.

Les roches de coulées andésito-basaltiques et andésitiques

De teinte gris-verdâtre ou rougeâtre, ces roches sont caractérisées par l'association de basaltes et d'andésites relativement scoriacées. Les minéraux dominants sont représentés par des phénocristaux de plagioclase et de clinopyroxène, dont les proportions relatives varient en fonction du type pétrographique. Ils confèrent à la roche une texture variable : microlitique porphyrique ou microlitique vitreuse à tendance fluidale, dont la mésostase, parfois opacifiée, est parsemée de microlites de plagioclase, clinopyroxène et de grains minéraux opaques auxquels s'associent des minéraux d'altération tel que la chlorite, la calcite et l'épidote.

Les plagioclases forment des prismes automorphes, souvent agglomérés en syneusis, dont la taille varie de 0.3 à 1 cm. Ils sont parfois affectés par une zonation variable, concentrique ou oscillatoire (patchy zoning), soulignée par des inclusions de minéraux opaques.

L'analyse à la microsonde (tabl.I.1, annexe) montre que leur composition chimique correspond essentiellement à de l'albite ($An_{14.0} Or_{9.8-0.1}$), à l'exception de certains phénocristaux (analyses 65 et 77) dont la composition correspond à du labrador ($An_{57.4-48.7} Or_{12.5.8}$).

Compte tenu du caractère basique et intermédiaire des basaltes et des andésites, une telle composition, loin de refléter celle des plagioclases magmatiques, témoigne de l'importance de l'altération hydrothermale qui se traduit par le développement de l'albite.

Les clinopyroxènes, cristallisent sous forme d'octaèdres et de primes craquelés à macles de l'albite fréquentes. Certains cristaux subarrondis montrent parfois une zonation concentrique soulignée par des inclusions de minéraux opaques.

Les sections, de dimension inférieure à 5mm, sont légèrement pléichroïques en lumière naturelle avec des teintes de polarisation variables entre le vert, le jaune-orangé et le violacé

Leur composition chimique (tabl.II.1, en annexe), peu variable, correspond à de l'augite ($En_{40.48} Fs_{10.18} Wo_{37.46}$) avec un taux de silice variable de 50.06 à 53.08% pour une teneur en fer (6.19 à 11.09%) sensiblement inférieure à celle du magnésium (14.34 à 16.84%) et du calcium (18.14 à 22.87%).

L'étude des variations de la silice en fonction de l'alumine et du nombre de cations Ti+Cr en fonction de Ca montre qu'il s'agit de clinopyroxènes d'affinité subalcaline dont le caractère est essentiellement orogénique (fig.4 et 5).

Les roches filoniennes

Parmi les roches filoniennes on distingue:

- les dolérites;
- les andésites;
- les syénites associées aux microgabbros.

Les dolérites

En fonction de leur composition minéralogique et de leur texture, les dolérites sont subdivisées en trois (03) types pétrographiques distincts:

- dolérite à plagioclase;
- dolérite à olivine- clinopyroxène;
- dolérite à plagioclase-clinopyroxène.

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)

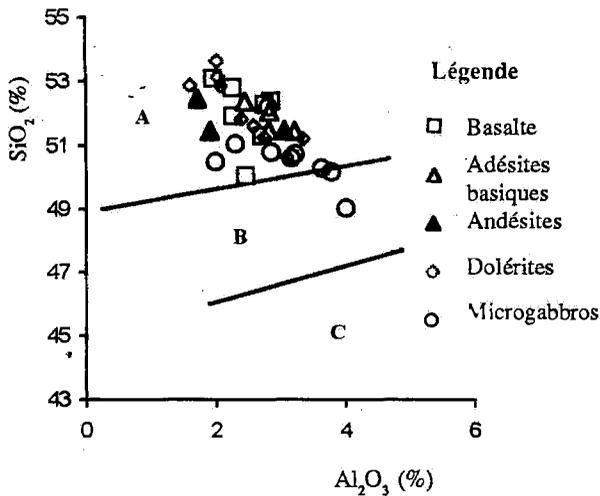


Fig. 4 - Position des roches étudiées dans le diagramme SiO_2 vs Al_2O_3 (Lebas, 1962)

Position of the rocks studied in the diagram SiO_2 vs Al_2O_3 (Lebas, 1962)

A - subalkalin (*subalkaline*); B - alcalin (*alkaline*);
C - hypercalin (*hyperalkaline*).

Les principales textures qui caractérisent ces faciès sont la texture doléritique fine et la texture microlitique porphyrique.

Les plagioclases, phase minéralogique dominante de ces roches, se présentent sous forme de lattes rectangulaires automorphes, parfois groupées en syneusis, dont la taille varie de 0.5 à 3 mm. Le tableau I.2 (annexe) montre que les phénocristaux ont une composition chimique assez homogène, typique du labrador ($\text{An}_{62-69.2}$ $\text{Or}_{2.1-3}$), contrairement aux microlites qui sont affectés par un étalement de leur composition entre le labrador et l'albite ($\text{An}_{51.8-2.2}$ $\text{Or}_{13.8-0.4}$).

Les clinopyroxènes, craquelés, apparaissent sous forme de prismes allongés et d'octaèdres parfois zonés, dont la taille varie de 0.4 à 5 mm. Certains cristaux, conservés sous forme de reliques, sont cernés par de fines lattes de plagioclase rappelant la texture doléritique intersertale. Ils cristallisent également en petits individus, associés à l'olivine, en formant des agrégats polycristallins de dimension variable de 1 à 1.5 mm. Certains agrégats montrent une

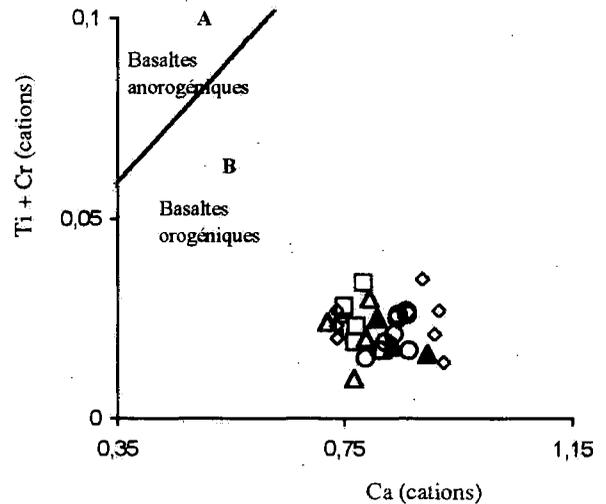


Fig. 5 - Position des roches étudiées dans le diagramme $\text{Ti}+\text{Cr}$ vs Ca (Molard et al., 1983). Légende, cf. Fig.4.

Position of the rocks studied in the diagram $\text{Ti}+\text{Cr}$ vs Ca (Molard and al., 1983). legend, cf. Fig.4.

auréole réactionnelle à cœur entièrement substitué par de la serpentine à structure lamelleuse.

Leur composition chimique, indiquée au tableau II.2 (annexe), est marquée par des teneurs plus élevées en calcium (17.57 à 23.45%) qu'en magnésium (14.94 à 16.53%) et fer total (4.16 à 11.12%).

Ces variations chimiques ont permis de distinguer deux types de clinopyroxènes:

- Le premier, plus calcique et magnésien, caractérise les dolérites à olivine-clinopyroxène (éch: D6), dont la composition chimique peu variable (En_{43-47} Fs_{6-11} Wo_{45-48}) correspond à celle du diopside;

- le second), plus riche en fer (9.43 à 11.60%) et en titane (0.51 à 0.82%) que le premier, est caractéristique des dolérites à clinopyroxène-plagioclase (éch: D5), dont la composition chimique (En_{43-45} Fs_{15-19} Wo_{36-41}) reflète celle de l'augite calcique.

Les andésites

Elles affleurent au Nord, à proximité du synclinal faillé de Guelb el Melah et au SE, dans l'Oued Souireg où elles sont bien représentées.

La roche, de teinte grise ou ocre, est constituée de phénocristaux de plagioclase disséminés dans une matrice fine non vacuolaire, à fines tablettes de plagioclases auxquelles s'associent des grains de quartz fibro-radiés dont la cristallisation est vraisemblablement liée à un processus de dévitrification de la roche.

La texture est microlitique vitreuse, à passées porphyriques de phénocristaux de plagioclase qui forment des lattes rectangulaires, parfois zonées, dont le squelette est souligné par des inclusions de minéraux opaques.

Certains faciès montrent, en plus des plagioclases, la présence de cristaux globuleux ou prismatiques de clinopyroxène à nombreux golfes de corrosion, qui leur confèrent une texture microlitique à tendance gloméroporphyrique.

Les syénites et microgabbros associés

Les microgabbros

Ce sont des roches de teinte verte ou rouge, dont la composition minéralogique est *semblable* à celle des roches volcaniques. Leur texture est doléritique intersertale à passées porphyriques de plagioclase et de clinopyroxène, cernées par une mésostase fine pigmentée de grains de minéraux opaques.

Les plagioclases, d'aspect nuageux, se présentent en cristaux relativement bien développés, parfois zonées dont la taille varie de 0.5 à 2 mm. Leur squelette relativement bien conservé, est néanmoins affecté par un début de substitution par l'épidote et la chlorite.

Les données analytiques (tabl.I.2, annexe) montrent que les phénocristaux et les microlites se scindent en deux groupes de composition chimique différente:

- le premier groupe (analyses 30 à 37) affiche une composition d'albite avec des taux d'anorthite et de potassium, respectivement variables de 5.2 à 7.6 et de 2.9 à 11.2.

- le second groupe (analyses 53 à 58), caractéristique du labrador, a une composition de $An_{64.7-63}$ avec, par rapport au premier groupe, une faible teneur en potassium ($Or_{2.6-2.2}$). En raison du caractère basique de ces roches, une telle composition refléterait de ce fait, la composition originelle des plagioclases magmatiques.

Les clinopyroxènes, de type augite ($En_{42-46}Fs_{11-17}Wo_{40-45}$), cristallisent sous forme de prismes allongés parfois trapus à clivage net, de dimension variable de 0.3 à 1.5 mm. Ils sont craquelés et dépourvus de macles polysynthétiques. Ils apparaissent également en petits cristaux isolés ou associés en agrégats pluricristallins avec le plagioclase et de petites sections globuleuses d'olivine.

À l'instar des roches volcaniques, les diagrammes établis (fig.4 et 5) attestent de leur caractère subalcalin et orogénique avec toutefois des teneurs en calcium (19.74 à 22.07%) plus élevées que leur équivalent des basaltes, des andésites basiques et de certaines dolérites (éch D5).

Les syénites

La roche, de teinte rose claire, est constituée de grains fins et moyens cimentés par une matrice fine partiellement envahie par des veinules d'oxydes de fer donnant à la roche un aspect tacheté.

Les minéraux essentiels sont représentés par le feldspath potassique et le plagioclase qui confèrent à la roche une texture grenue.

Le feldspath alcalin apparaît sous forme de cristaux subautomorphes ou xénomorphes, à macle de péricline fréquente. Il est souvent altéré, montrant parfois un quadrillage fin caractéristique du microcline.

Le plagioclase, de type albite ($An_{1.5-0.2} Or_{0.7-0.3}$), forme des lattes rectangulaires et carrées, parfois zonées, à macle polysynthétique fréquente. Les cristaux sont souvent transformés en calcite qui cristallise également dans les fissures sous forme de filonnets de dimension centimétrique. Il s'y associe du quartz sous forme de petites plages xénomorphes et de veinules, dont la cristallisation tardive serait liée à un processus de silicification secondaire de la roche.

Les Pyroclastites

Ce sont des roches massives de couleur verte, parfois oxydées, montrant occasionnellement des phénocristaux de plagioclase et de quartz arrondi, visibles à l'œil nu.

Les observations microscopiques montrent qu'il s'agit d'un matériel fin chloritisé, à rares phénocristaux de plagioclase altérés et de quartz probablement d'origine volcanique.

Ce matériel constitue parfois des alternances de niveaux clairs riches en calcite et en chlorite et de niveaux plus sombres pigmentés de grains et de filonnets de minéraux opaques. Cette disposition confère à la roche une texture rubanée.

Ordre de cristallisation des minéraux

Les relations interminérales et les nombreuses inclusions de minéraux opaques permettent de suggérer pour les différentes roches une séquence de cristallisation marquée par l'apparition

précoce des oxydes opaques, suivis par l'olivine, l'orthopyroxène, le clinopyroxène et le plagioclase.

Cette séquence se termine dans les faciès les plus évolués, notamment les syénites, par l'apparition de feldspath potassique.

Dans certaines roches, l'existence fréquente d'agrégats polycristallins et d'interpénétration entre le plagioclase et le clinopyroxène témoignerait d'une cristallisation simultanée de ces deux minéraux.

Les minéraux secondaires issus de la déstabilisation des phases minéralogiques primaires sont représentés par la calcite, la chlorite, l'épidote, la serpentine et le quartz.

En définitive, le processus de cristallisation doit être plus complexe eu égard à la diversité des relations interminérales, le zonage du clinopyroxène et parfois du plagioclase.

Etude de l'altération tardive à post-magmatique

La majorité des échantillons étudiés ont subi, postérieurement à leur mise en place, un processus d'altération hydrothermale qui affecte essentiellement le plagioclase, le feldspath potassique, l'olivine et à un degré moindre le clinopyroxène. De cette déstabilisation résulte la cristallisation d'assemblages de minéraux secondaires dont la nature varie parfois au sein d'un même type pétrographique. Parmi ces minéraux, on distingue:

- La chlorite: qui apparaît essentiellement dans les roches volcaniques sous forme de gerbes fibro-radiées et de plages irrégulières de couleur verte, souvent associées à l'albite et parfois à la calcite. Celle-ci cristallise également en grandes plages à clivage fin et régulier donnant parfois un quadrillage losangique.

- L'épidote : de type pistachite et piedmontite, se présentant en petits grains et veinules dont les plus développées, d'extension métrique, apparaissent dans la formation andésito-basaltique.

- La serpentine : elle apparaît essentiellement dans les dolérites sous forme de lamelles et de bandes irrégulières aux dépens de l'olivine et du clinopyroxène.

- Le quartz : dans les roches volcaniques, il se présente sous forme de fines gerbes fibro-radiées et de silice amorphe, engendrées par un processus de dévitrification de la roche. Au niveau des syénites, le quartz cristallise essentiellement dans les fissures sous forme de veinules de dimension millimétrique.

Dans la formation andésito-basaltique, ce processus hydrothermal se traduit également par la cristallisation de minéraux sulfurés, en particulier du cuivre natif associé à de la malachite.

L'étude de l'altération menée par diffractométrie aux RX sur une quarantaine d'échantillons montre que la région étudiée a été affectée, en plus de l'hydrothérmalisme, par un métamorphisme de type épizonal attesté par la cristallisation de préhnite, de pumpellyite, auxquelles s'associent parfois la montmorillonite et la kaolinite, dans la majorité des roches étudiées. Ce métamorphisme, déjà décrit au Nord, dans les Monts de l'Ougarta (Chikhaoui, 1971) et à l'Ouest dans l'Oued Damrane (Remichi, 1987) constitue un événement métamorphique d'échelle régionale, généralisé à l'ensemble des chaînes de l'Ougarta. Il serait lié aux déformations hercyniennes et à l'anchimétamorphisme à pyrophyllites ayant affecté la série paléozoïque (Chenau *et al.*, 1970).

ETUDE GEOCHIMIQUE

Introduction

L'intérêt de l'étude géochimique est de caractériser le comportement et l'évolution des éléments majeurs, des éléments en traces et des terres rares, au cours de la différenciation magmatique.

L'analyse des éléments majeurs sur roche totale (tabl.III et IV, annexe) a porté sur des échantillons représentatifs des roches volcaniques et plutoniques, choisis sur la base de la rareté des minéraux d'altération au niveau des lames minces. Elle a été réalisée par les méthodes de fluorescence X et par voie humide aux laboratoires de l'ORGM (Boumerdès et Tamarrasset) et du BRGM (Orléans, France).

L'analyse des éléments en traces et des terres rares (tabl.V, annexe) a été réalisée au BRGM (Orléans, France) sur une dizaine d'échantillons représentatifs de l'ensemble des roches étudiées. Les alcalino-terreux (Ba, Sr) et les éléments de transition (Ni, Co, Cr, V, Cu) ont été dosés par la méthode ICP/AES (spectrométrie d'émission couplée au plasma inductif) après mise en solution totale de l'échantillon par fusion alcaline. Pour les éléments HFSE (Th, Y, U) et les terres rares, la détermination des concentrations a été menée par ICP/MS (spectrométrie de masse couplée au plasma inductif) après mise en solution totale par attaque triacide (HNO_3 , HClO_4 , HF).

Les éléments majeurs

La composition chimique en éléments majeurs atteste du caractère basique et intermédiaire des roches volcaniques et plutoniques de Sebkhate Melah avec la silice qui varie de 46 à 62.50% pour des taux de magnésium et de calcium respectivement variables de 0.45 à 7.70% et de 2.66 à 11.08%.

Les teneurs, relativement élevées en alumine (12.50 à 19.43%) et faibles en titane (0.34 à 1.72%) constituent des caractères typiques qui définiraient une association orogénique calco-alcaline, de type marge continentale (Gill, 1981). Une telle affinité se confirme à travers les diagrammes de variation de SiO_2 en fonction du rapport FeO^*/MgO (fig.6) et de Al_2O_3 en fonction de la composition du plagioclase normatif (fig.7) où l'essentiel des points représentatifs se projette dans le champ calco-alcalin.

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)

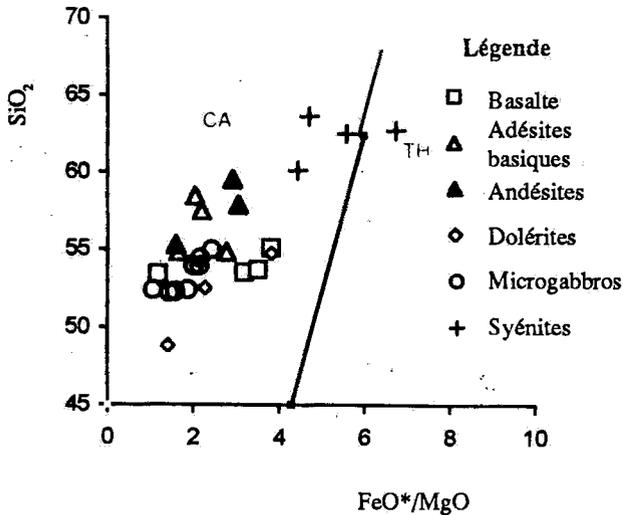


Fig. 6 - Diagramme de variation de SiO_2 en fonction de FeO^*/MgO (anhydres) de Miyashiro, (1974)

Diagram of variation of SiO_2 according to FeO^*/MgO (anhydrous) of Miyashiro, (1974)

CA - calco-alcalin (*calc-alkal*); B - tholéiitique (*tholeiitic*).

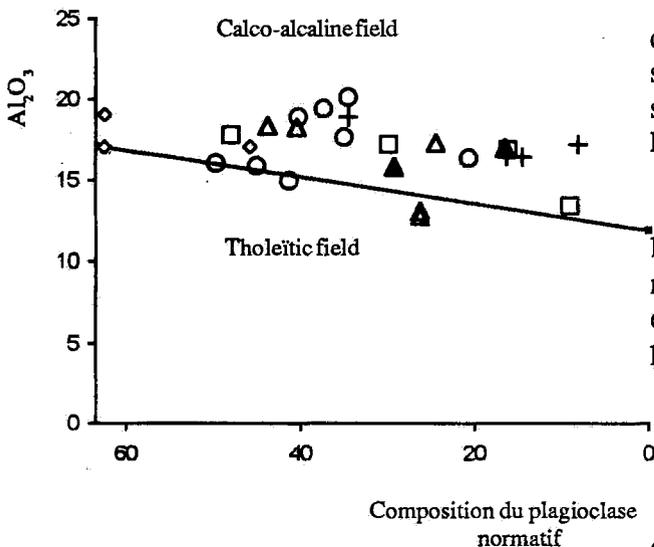


Fig. 7 - Diagramme de variation de Al_2O_3 en fonction de la composition du plagioclase normatif (anhydres) de Irvine et Baragar (1971). Légende, cf. Fig. 6.

Diagram of variation of Al_2O_3 according to the plagioclase normative composition (anhydrous) of Irvine & Baragar (1971). Legend, cf. Fig. 6.

Le calcul de la norme CIPW (tabl. III et IV, annexe) montre que la composition chimique des roches étudiées évolue entre des compositions déficitaires en silice avec un taux de néphéline normative variable de 0.68 à 8.84% et des compositions sursaturées à quartz normatif dont les teneurs oscillent entre 0.19 et 6.66%. Les phases minéralogiques virtuelles prédominantes sont représentées par les feldspaths, le clinopyroxène, l'orthopyroxène et à un degré moindre l'olivine. La magnétite, l'ilménite et l'apatite apparaissent en très faibles proportions.

Les éléments de traces

Les éléments incompatibles

Outre les alcalino-terreux (Ba, Sr), l'analyse a porté sur certains éléments à fort potentiel ionique (HFSE) en particulier Th, U, Y.

Leur comportement au cours de la différenciation magmatique a été testé par le choix de la silice comme élément de référence en raison de son large spectre de variation qui couvre l'ensemble des roches étudiées.

Nous avons également abordé la relation entre les alcalino-terreux et certains éléments réputés mobiles, tel que Ca et K, afin de cerner l'influence de l'altération tardi à post-magmatique sur la composition chimique des roches étudiées.

Les alcalino-terreux

Le baryum varie dans un large intervalle compris entre 62 et 1470 ppm avec des concentrations plus élevées dans les roches plutoniques que dans les roches volcaniques.

Le strontium varie de 150 à 678 ppm avec dans les roches volcaniques des teneurs supérieures à celles du baryum.

Leur évolution en fonction de la silice et du calcium est marquée par une tendance à une corrélation négative (fig. 8). Elle s'expliquerait dans le cas de Sr par le fractionnement du plagioclase au cours de la différenciation magmatique.

L'étude de la relation entre le baryum et le strontium (fig. 9) est marquée, pour l'ensemble des roches étudiées, par une nette corrélation positive. Une telle corrélation apparaît également lorsqu'on considère les variations du baryum en fonction du potassium (fig. 10).

Les éléments à fort potentiel ionique (HFSE)

Dans les roches étudiées, la teneur en Y varie de 11.31 à 20.15 ppm pour de faibles taux en Th (0.90 à 3.95) et en U (0.90 à 2.40 ppm). Leur évolution, identique, se traduit par une tendance à un enrichissement sans variation sensible du taux de silice (fig. 11).

En définitive, eu égard au nombre limité des analyses chimiques, la différence de comportement des différents éléments, en

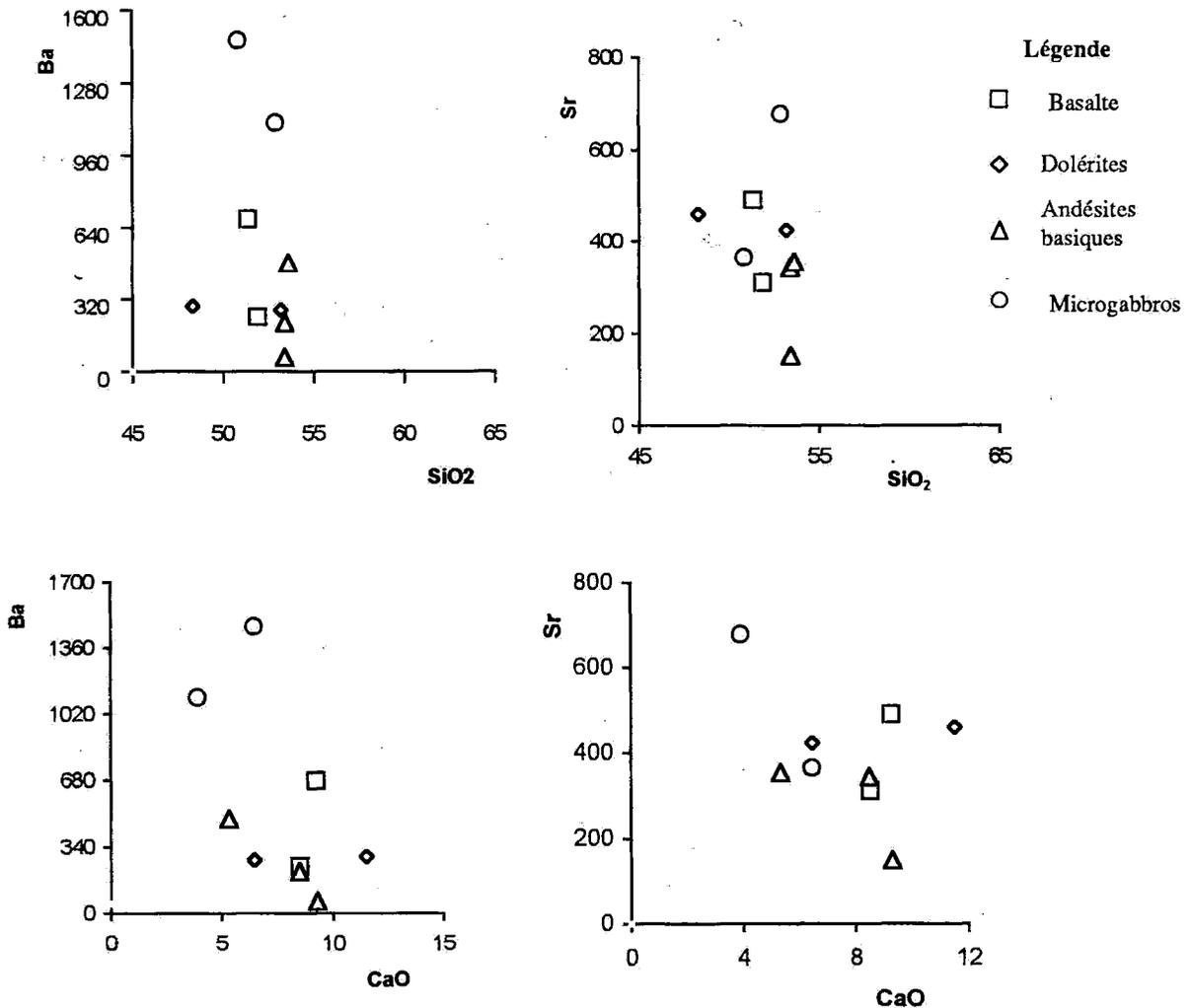


Fig. 8 - Variations de Ba et Sr en fonction de SiO₂ et de CaO
Variations of Ba and Sr according to SiO₂ and CaO

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)

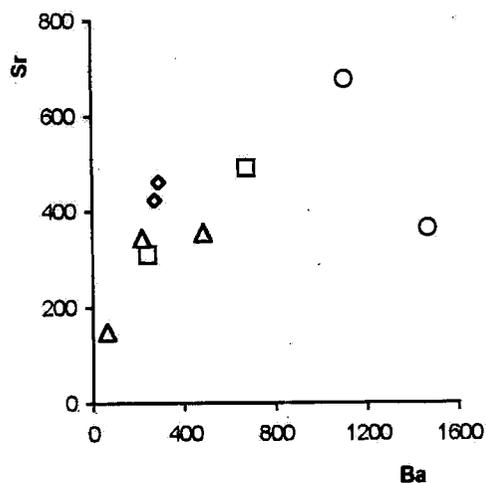


Fig. 9 - Relation entre Ba et Sr.
Légende, cf. Fig.8

Relation between Ba and Sr. Légende, cf. Fig.8

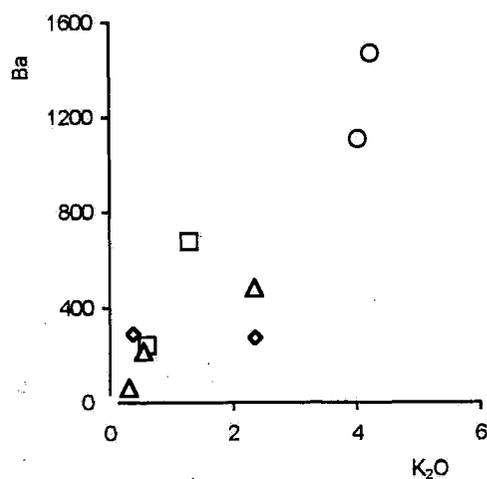


Fig. 10 - Variations de Ba en fonction de de K₂O.
Légende, cf. Fig.8

Variations of Ba according to K₂O. Legend, cf. Fig.8

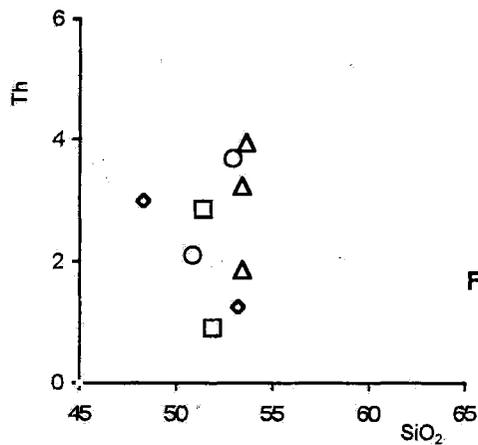
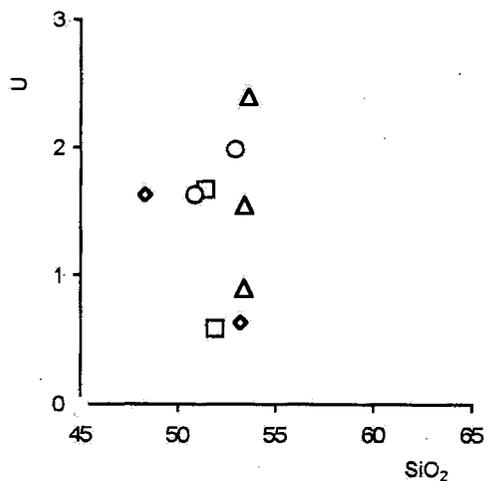
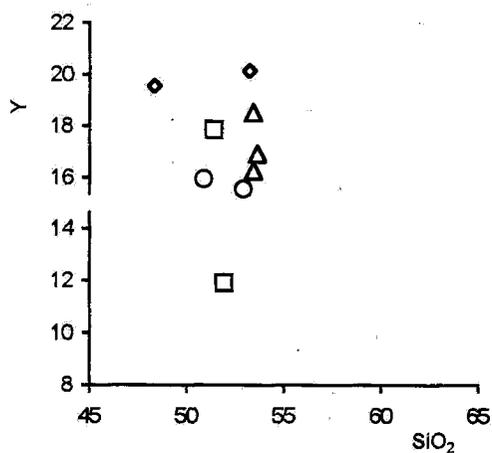


Fig. 11 - Variations de Y, U et Th en fonction de SiO₂.
Légende, cf. Fig. 8

*Variations of Y, U and Th according to SiO₂.
Legend, cf. Fig. 8*

particulier en fonction de la silice rend les corrélations observées discutables. La répartition des points représentatifs n'exclut pas leur remobilisation, à des degrés variés, au cours de l'altération hydrothermale.

Les éléments compatibles

Les variations des éléments de transition (Ni, Co, Cr, V, Cu) en fonction de l'indice de solidification (IS) se traduit par des corrélations positives, contrairement au cuivre qui montre une corrélation négative (fig. 12).

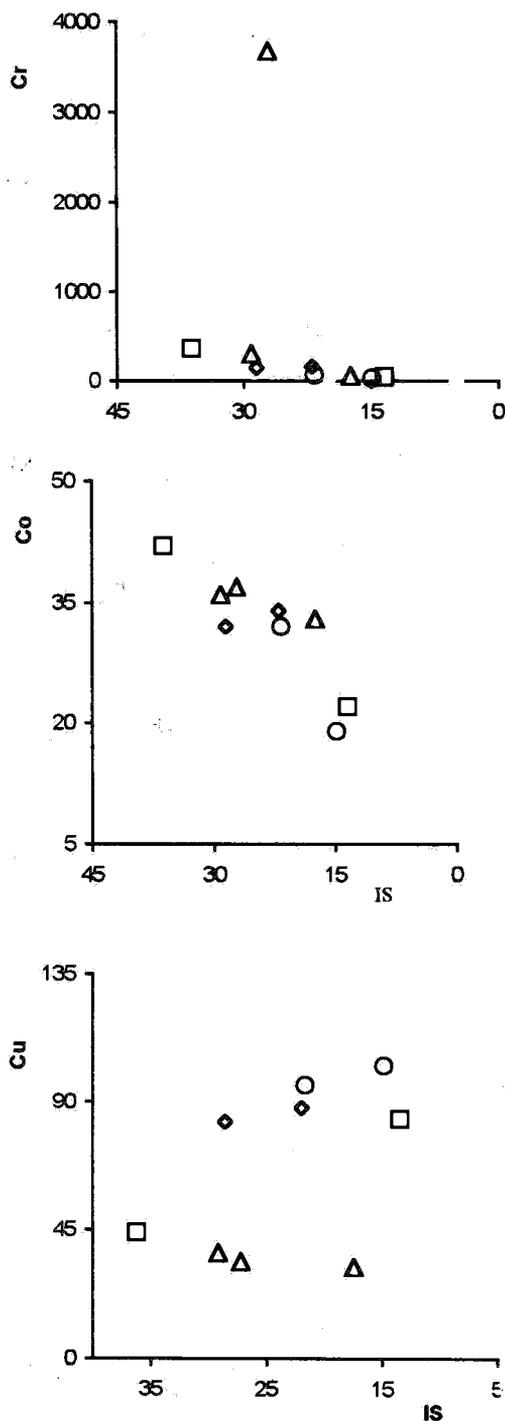
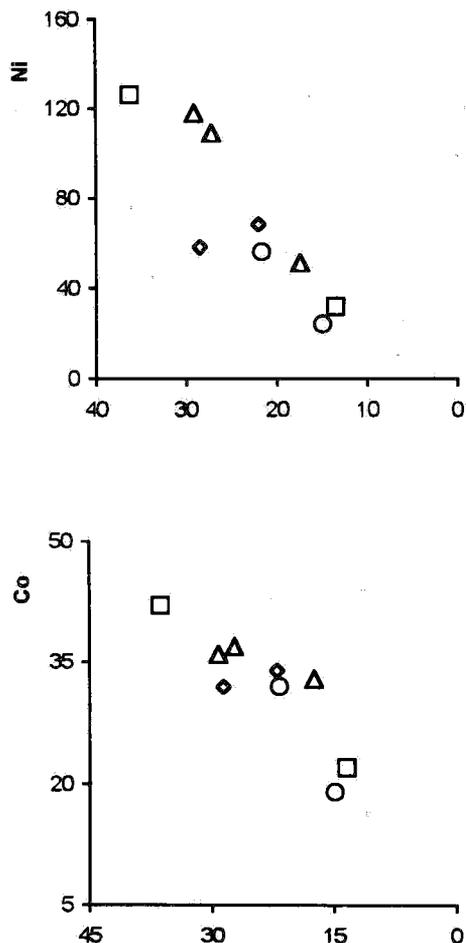


Fig. 12 - Variations des éléments de transition (Ni, Co, Cr, V, Cu) en fonction de l'indice de solidification de Kuno(1968). Légende, cf. Fig.8

Variations of the transition elements (Ni, Co, Cr, V, Cu) according to the index from solidification (Kuno, 1968). Legend, cf. Fig.8

Leur évolution suivant des courbes régulières, en particulier pour Ni, Co et Cr, est liée à une minéralogie originelle et parfois identique des différentes roches où le clinopyroxène est relativement prédominant. Elle peut être interprétée en termes de différenciation magmatique contrôlée par un processus de cristallisation fractionnée.

L'ensemble des roches étudiées montre (fig.13) une augmentation des concentrations du nickel en fonction du cobalt. Ce caractère est du moins conforme aux andésites orogéniques où Ni et Co sont corrélés positivement (Gill, 1981).

Contrairement à ce qui est communément observé dans les séries calco-alkalines où le rapport Ni/Co est inférieur à 1, les roches étudiées affichent des valeurs anormalement élevées et supérieures à 1. De tels rapports sont signalés pour les andésites orogéniques du Pérou et seraient d'après Andriambololona (1976) un caractère typique à la marge continentale de l'Amérique du Sud.

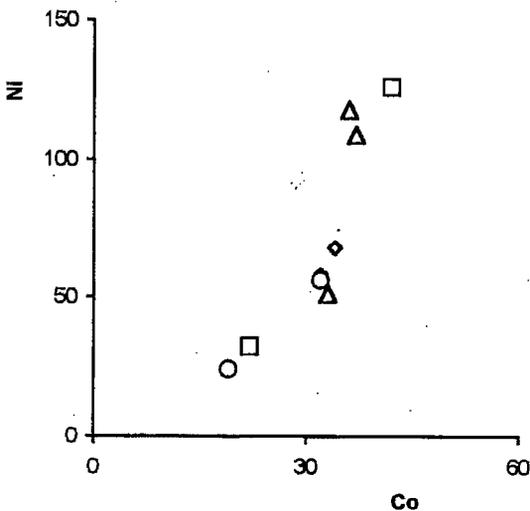


Fig. 13 - Variations de Ni en fonction de Co.
Légende, cf. Fig.8

Variations of Ni according to Co.
Legend, cf. Fig.8

Les terres rares

La composition chimique en terres rares des roches étudiées (tabl.V, annexe) a été normée à celles des chondrites dans la mesure où celles-ci sont supposées représenter la composition initiale de la terre.

En terme de comparaison avec des roches de provinces orogéniques similaires, la normalisation a été établie par rapport au manteau primitif (Sun et Mc Donough, 1989), en supposant que ce dernier est la source potentielle des roches étudiées.

Dans les roches volcaniques, les spectres des roches normés aux chondrites se traduisent par un enrichissement important des terres rares légères [$1.84 < (La/Eu)_N < 2.69$] par rapport aux terres rares lourdes [$1.17 < (Eu/Yb)_N < 1.80$] où le fractionnement est faible ou absent (fig. 14, a, b, c).

Parmi les basaltes, l'échantillon B16 se singularise par une légère anomalie négative en Eu ($Eu/Eu^* = 0.94$) qui témoigne d'un fractionnement de plagioclase au cours de la différenciation magmatique (fig. 14 a).

Au niveau des andésites, la légère anomalie positive en Eu ($Eu/Eu^* = 1.06$) observée dans l'andésite A10 traduit le caractère cumulatif du plagioclase par rapport à l'échantillon A21 (fig. 14 b).

Les spectres normalisés au manteau primitif (Sun et Mc Donough, 1989) attestent d'un appauvrissement général en terres rares des roches volcaniques de Sebkhata el Melah par rapport à celles de Ouarzazate (Anti-Atlas marocain) et de l'Oued Damrane (Ouest des chaînes de l'Ougarta) avec les basaltes et les andésites basiques qui montrent une relative similitude de fractionnement des HREE marquée par des spectres relativement plats et parfois confondus (fig. 15 a, b, c).

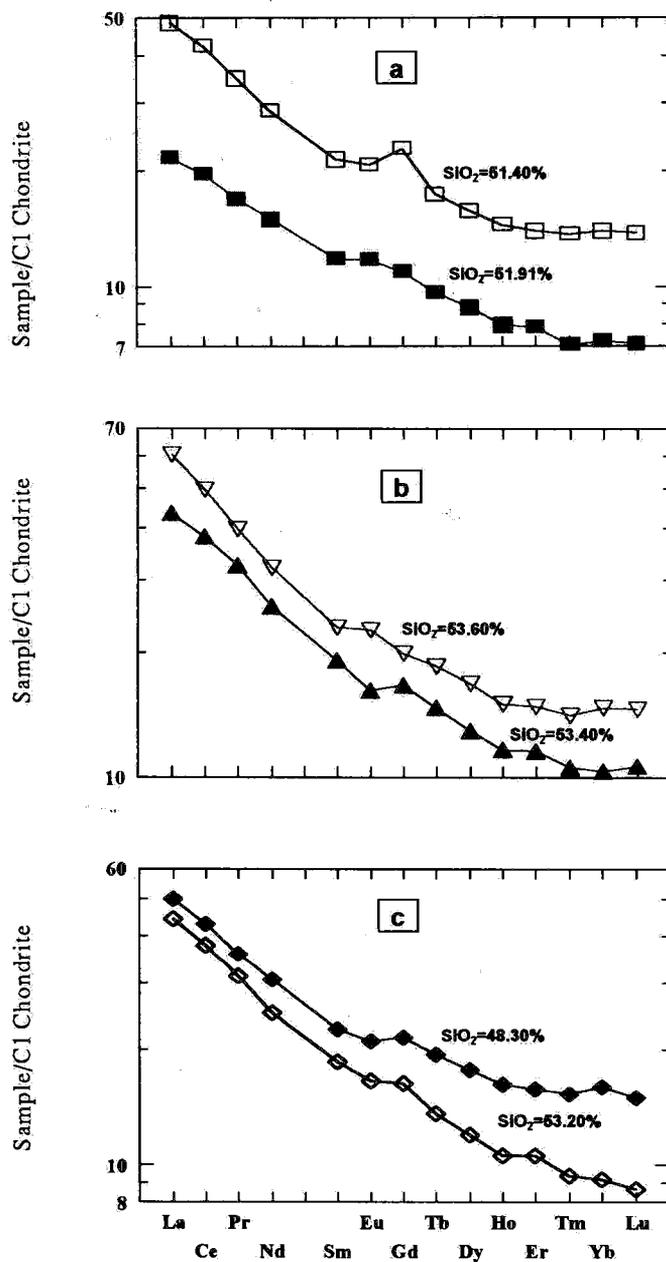


Fig. 14 - Spectres des terres rares normés aux chondrites des dolérites (a), des basaltes (b) et des andésites basiques (c). Légende, cf. Fig.15

Patterns of rare earths normalized with the chondrites, of dolerites (a), basalts (b) and the basic andesites (c). Legend, cf. Fig.15

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)

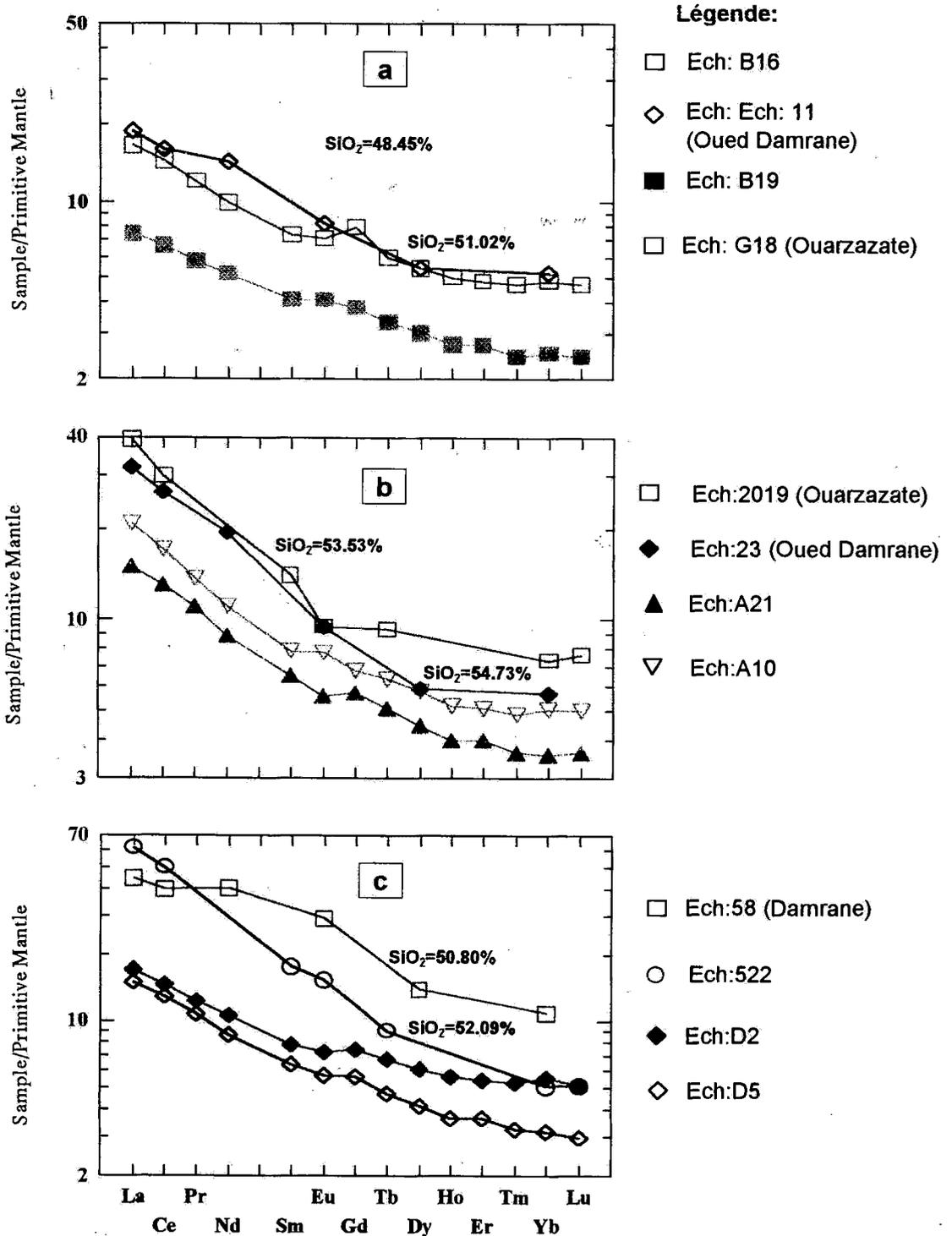


Fig. 15 - Spectres des terres rares normés au manteau primitif (Sun et Mc Donough, 1989) des des basaltes (a), des andésites basiques (b) et des dolérites (c), comparés à leurs équivalents de l'Oued Damrane et de Ouarzazate
Patterns of rare earths normalized with the primitive mantle (Sun et Mc Donough, 1989) of basalts (a), basic andesites (b) and the dolerites (c), compared with their equivalents of the Oued Damrane and Ouarzazate

Par rapport à la moyenne des andésites orogéniques (Bailey, 1981), les andésites basiques de Sebkhath el Melah sont légèrement appauvries en LREE et relativement enrichies en HREE où le fractionnement est faible ou absent (fig.16).

Dans les roches plutoniques, en particulier les microgabbros, l'évolution des terres rares est

similaire à celle des roches volcaniques. Elle se traduit par une pente dégressive depuis les LREE [$3.08 < (La/Eu)_N < 3.22$] jusqu'aux HREE [$1.26 < (Eu/Yb)_N < 1.77$] où les spectres deviennent plats et confondus (fig.17). L'anomalie négative en Eu ($0.8 < Eu/Eu^* < 1$) témoigne d'un appauvrissement en plagioclase de l'échantillon Mg30 par rapport à l'échantillon Mg34.

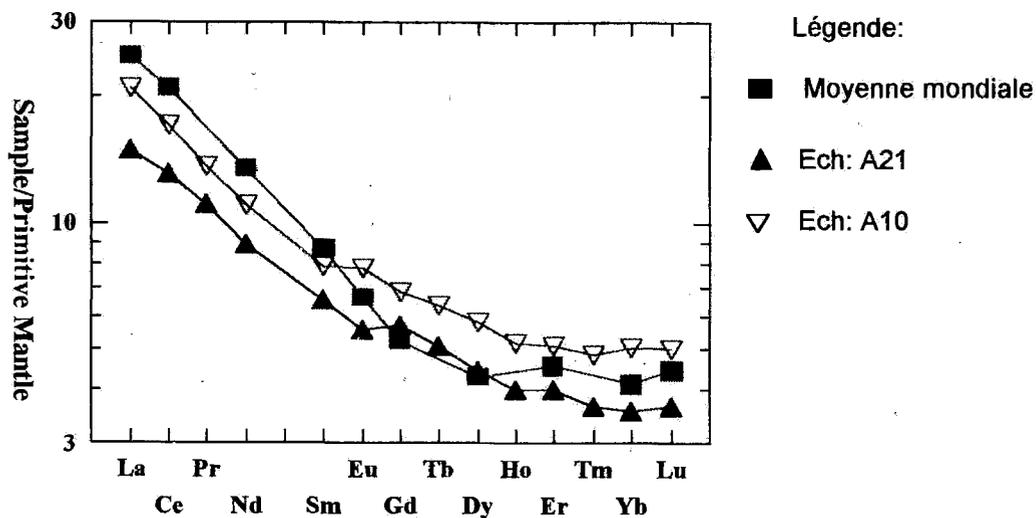


Fig. 16 - Spectres des terres rares normalisés au manteau primitif (Sun et Mc Donough, 1989) des andésites basiques, comparées à la moyenne des andésites mondiales (Bailey, 1981)

Patterns of rare earths normalized with the primitive mantle (Sun and Mc Donough, 1989) of basic andesites, compared with the average of the world andesites (Bailey, 1981)

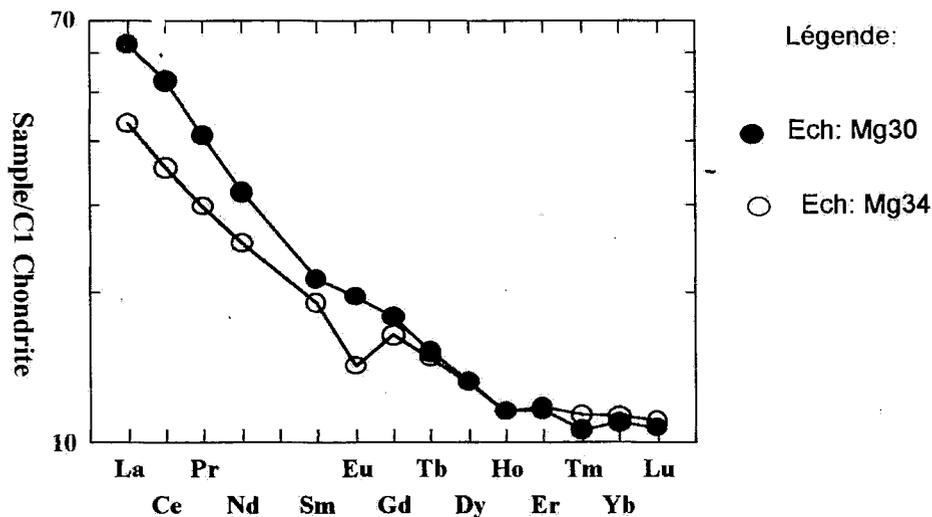


Fig. 17 - Spectres des terres rares, normalisés aux chondrites de microgabbros
Patterns of rare earths, normalized with chondrites of the microgabbros

En définitive, l'étude des terres rares confirme le caractère calco-alkalin des roches étudiées, se traduisant par un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes où les spectres relativement plats attestent de leur faible degré fractionnement.

L'analogie des spectres entre les roches volcaniques et les roches plutoniques de Sebkhath el-Melah suggère pour ces roches une même origine magmatique.

L'association des deux faciès dans l'espace et dans le temps traduirait l'expression d'un magmatisme à des niveaux de mise en place différents. Ce type de magmatisme a été décrit par de nombreux auteurs dans les ceintures circum-pacifiques. (Graviou, 1983).

Cette relation entre le volcanisme et le plutonisme ne constitue pas un trait particulier à la Sebkhath el Melah puisqu'elle est signalée à l'Ouest de la région étudiée, dans l'Oued Damrane (Remichi, 1987) et plus au Nord, dans le massif de Boukaïs (Sedikki, 1997).

Contexte géotectonique

Par manque de données analytiques en éléments en traces tel que le Rb et le Zr qui sont de très bons marqueurs géotectoniques, la détermination du contexte de mise en place des roches étudiées a été testée dans des diagrammes ternaires basés sur l'utilisation de certains éléments majeurs, en particulier TiO_2 , P_2O_5 , MnO et K_2O .

- Le diagramme TiO_2 -MnO*10- P_2O_5 *10 (Mullen, 1983) montre que la majorité des roches étudiées (fig. 18) se situe de part et d'autre de la limite qui sépare les tholéiites d'arcs insulaires (IAT) et les basaltes calco-alkalins (CAB), à l'exception de certains échantillons de basaltes (D4, B20), de microgabbros (Mg34) et de syénites qui montrent une affinité avec les basaltes des îles océaniques (OIB).

Le cas particulier de l'échantillon de dolérite (D1) qui se localise dans le champ des MORB s'expliquerait par sa teneur en titane (1.72%) qui est la plus élevée de toutes les roches étudiées.

- Le diagramme TiO_2 - K_2O - P_2O_5 (Pearce *et al.*, 1975), où l'essentiel des roches étudiées se localise dans le domaine continental, à l'exception d'un échantillon de dolérite (éch: D1), qui en raison de sa teneur élevée en titane (1.72%), se situe dans le domaine océanique (fig. 19).

VI-PETROGENESE

Des arguments d'ordre pétrographique, minéralogique et géochimique montrent que la cristallisation fractionnée est le mécanisme le plus approprié à même de rendre compte de la mise en place des laves volcaniques et des intrusions volcano-plutoniques de Sebkhath el-Melah.

En effet, la présence de basaltes à l'affleurement permet d'envisager pour l'ensemble des roches étudiées un mécanisme de genèse guidé par la cristallisation fractionnée à partir d'un magma basaltique primaire d'origine mantellique.

Les hétérogénéités minéralogiques, marquées par l'abondance de phénocristaux de plagioclase et de clinopyroxène, traduisent une évolution des différentes roches par cristallisation fractionnée.

Le caractère porphyrique des différents minéraux prouve qu'ils ont séjourné, avant leur ascension en surface, dans une chambre magmatique où ont été possibles des mouvements convectifs comme en témoigne la disposition en synclinal des plagioclases.

L'absence de minéraux réfractaires (cordiérite, grenat, sillimanite) et la faible apparition de corindon normatif (éch: A12 et Mg34) minimise le rôle de la croûte continentale dans la genèse des roches étudiées.

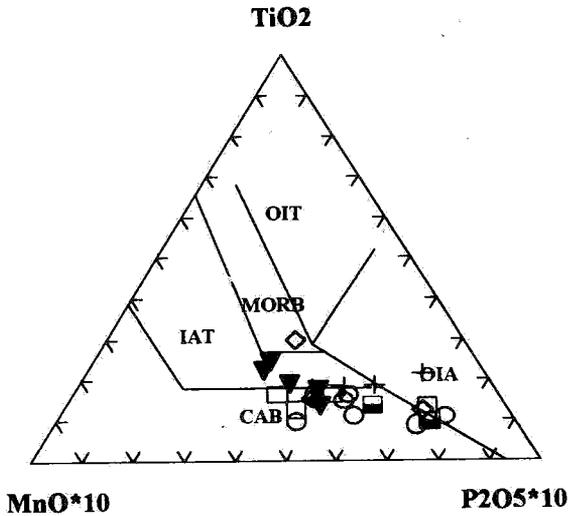


Fig. 18 - Position des roches étudiées dans le diagramme TiO_2 - $MnO*10$ - P_2O_5*10 (anhydres) de Mullen (1983)

*Position of the rocks studied in the TiO_2 - $MnO*10$ - P_2O_5*10 diagram (anhydrous) of Mullen (1983)*

Abréviations:

- OIB: Basaltes des îles océaniques.
- CAB: Basaltes calco-alcalins.
- MORB: Basaltes des rides médio-océaniques.
- OIT: Tholéiites des îles océaniques.
- IAT: Tholéiites des arcs insulaires.

Légende:

- Basaltes
- ▼ Andésites basiques
- Andésites
- ◇ Dolérites
- Microgabbros
- + Syénites

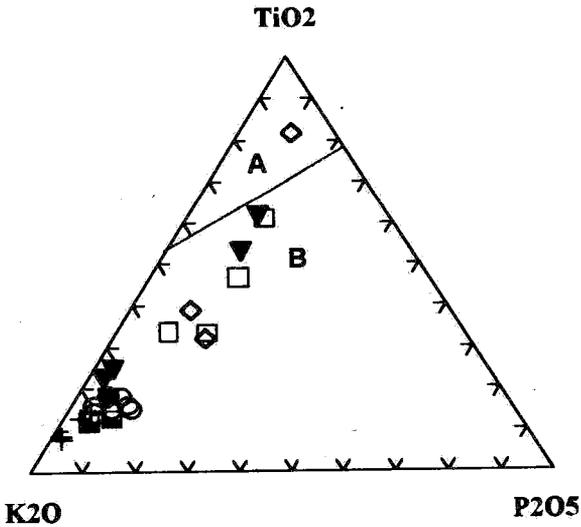


Fig. 19 - Position des roches étudiées dans le diagramme TiO_2 - K_2O - P_2O_5 (anhydres) de Pearce et al., 1975

Position of the rocks studied in the TiO_2 - K_2O - P_2O_5 diagram (anhydrous) of Pearce and al., 1975

A : domaine océanique (*oceanic field*); B : domaine continental (*continental field*).

Le comportement des éléments compatibles et à un degré moindre des éléments incompatibles se traduit par des courbes d'évolution régulières que l'on peut interpréter en terme de différenciation magmatique, contrôlée par la cristallisation fractionnée.

DISCUSSION

Le magmatisme de Sebkhata el Melah, d'affinité calco-alkaline, est lié à la collision à la fin de l'événement panafricain entre le bouclier touareg et le craton ouest africain. Son apparition serait liée au rejeu en décrochement dextre des anciens accidents du socle, suivant une direction NW-SE. Ces rejeux auraient engendré des ouvertures suivant la direction de l'axe anticlinal et qui ont servi de lieu d'émission des coulées andésito-basaltiques, sous le contrôle d'un processus de cristallisation fractionnée.

La mise en place des dolérites et des syénites est tardive et serait liée à des ouvertures secondaires, de direction générale N100, N45, N25; qui n'affectent que le complexe volcano-sédimentaire sans atteindre la formation andésito-basaltique.

La contrainte au modèle de cristallisation fractionnée réside dans l'incertitude sur la nature du magma parent à l'origine des roches étudiées. Par manque de données isotopiques (Sr, Nd, O) le choix d'une source donnée devient hypothétique et discutable.

Néanmoins, en se basant sur les spectres de terres rares qui montrent un enrichissement en LREE jusqu'à 70X les chondrites, nous pensons que la série de Sebkhata el Melah est issue d'une source profonde qui se situerait dans le manteau supérieur, préalablement enrichi en terres rares légères et autres éléments incompatibles.

CONCLUSION GENERALE

La série volcano-plutonique de Sebkhata el Melah est constituée par un ensemble de coulées à prédominance de basaltes et d'andésites, qui surmonte un complexe volcano-sédimentaire recoupé par des dykes de dolérites et des sills de microgabbros-syénites.

Cette série est, en tous points, analogue à celle de L'Oued Damrane qui est, néanmoins, couronnée par des coulées rhyolitiques.

L'étude pétrographique montre que les minéraux prédominants des roches volcaniques et plutoniques sont le clinopyroxène et le plagioclase, auxquels s'associent, en fonction des faciès, l'olivine, l'orthopyroxène et le feldspath potassique.

Les roches étudiées ont subi postérieurement à leur mise en place, un processus d'altération hydrothermale et métamorphique, se traduisant par la cristallisation de chlorite, calcite, albite, épidote, quartz, préhnite et pumpellyite, auxquels s'y associent parfois des minéraux métalliques notamment du cuivre natif et de l'hématite.

Les clinopyroxènes, de type augite, présentent une composition chimique peu variable avec de faibles teneurs en alumine, titane, chrome, manganèse et sodium. Leur teneur en calcium, plus élevée que celle en magnésium et en fer, traduit une cristallisation de ces minéraux en présence d'eau (Green et Ringwood, 1968).

Les faibles teneurs en fer, notamment en Fe^{3+} , caractéristiques des séries calco-alkalines, seraient liées à une fugacité de l'oxygène (fO_2) élevée qui favorise la cristallisation précoce des oxydes ferro-titanés à l'origine de l'appauvrissement en fer du magma (Fodor, 1971; Gill, 1981).

Le caractère calco-alcalin est confirmé par l'étude des terres rares qui montrent un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes où le fractionnement est faible ou absent.

Sur le plan géodynamique, les principaux domaines panafricains qui jalonnent le craton ouest africain à l'Est (Adrar des Iforas, Hoggar) et au NW (Anti-Atlas marocain) sont affectés au Protérozoïque supérieur par une intense activité magmatique engendrée par un processus d'ouverture océanique suivi d'une fermeture par subduction (Caby, 1978; Bertrand et Caby, 1978).

En l'absence de témoins de croûte océanique subductée, la zone de l'Ougarta correspondrait à un grand décrochement qui relierait la subduction à l'Est vers le Hoggar et au Sud de l'Anti-Atlas marocain.

Le sens du décrochement, dextre dans le cas de la Sebkhate el Melah, reste encore à préciser pour les autres compartiments du bâti Ougartien.

En terme de datation, les perturbations subies par l'ensemble des éléments chimiques, aussi bien majeurs qu'en traces, rendent difficiles les mesures géochronologiques notamment par les méthodes K-Ar et Rb-Sr. En effet, dans l'Ougarta et l'Anti-Atlas marocain, il a été démontré que ces deux couples ont fonctionné en systèmes ouverts, fournissant des âges non significatifs (Chikhaoui, 1974-1981).

Néanmoins, par comparaison avec la série de Ouarzazate et les rhyolites de In zize (Hoggar occidental), le magmatisme de la Sebkhate el Melah, à l'instar de son équivalent occidental (Oued Damrane), est sans doute lié aux phases tardives de l'événement thermo-tectonique panafricain. Cet événement, présumé d'âge Précambrien

terminal-Cambrien inférieur, est suivi par le dépôt d'une puissante accumulation sédimentaire par le biais de laquelle s'érige l'aulacogène de l'Ougarta au cours de l'orogénèse hercynienne.

BIBLIOGRAPHIE

- AÏT-HAMOU, F., 2000. Un exemple de point chaud intracontinental en contexte de plaque quasi-stationnaire: étude pétrologique et géochimique du djebel Taharaq et évolution du volcanisme cénozoïque de l'Ahaggar (Sahara algérien). *Thèse. Doct. Univ. Montpellier II*, 250p.
- AÏT-HAMOU, F., 1987. Etude pétrologique et géochimique du volcanisme d'âge Miocène de la région de Hadjout (Ouest algérois). *Thèse. Magister. IST. USTHB. Alger*, 193p.
- BENHALLOU, A.Z., 2000. Etude du volcanisme alcalin cénozoïque de la région de Tahifet (Bloc Azrou n'fad, Hoggar central, Algérie). *Thèse. Magist. IST. USTHB. Alger*, 148p.
- ANDRIAMBOLOLONA, R., DUPUY, C., 1978. Répartition et comportement des éléments de transition dans les roches volcaniques. *Bull. BRGM. Sér II*: 121-138.
- BERTRAND, J.M.L., CABY, R. 1978. Geodynamic evolution of the pan-african orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield (algerian Sahara). *Geol. Rundschau*, 67, 357-388.
- BRIQUEU, L., 1994. Sur la classification et la normalisation des éléments incompatibles. *Bull. Soc. géol. France*, t.165, n° 1: 15-18.
- CABY, R., 1978. Paléogéodynamique d'une marge passive et d'une marge active du Précambrien supérieur: leur collision dans la chaîne panafricaine du Mali. *Bull. Soc. géol. France*, (7) 20: 857-861.
- CABY, R., 1996. Rapport de la mission de terrain dans le grand sud-ouest algérien (7-22/11/1992). *Mém. Serv. géol. Algérie.*, n°8: 49-51.

PÉTROGRAPHIE, MINÉRALOGIE ET GÉOCHIMIE DE LA SÉRIE VOLCANO-PLUTONIQUE DE LA BOUTONNIÈRE ANTICLINALE DE LA SEBKHA EL MELAH (CHAÎNE DE L'OUGARTA, SW ALGÉRIEN)

- CHERFOUH, E.-H., 2001.** Etude de la série volcano-plutonique de la boutonnière anticlinale de Sebkhath el Melah (chaînes de l'Ougarta, SW algérien). Pétrographie, minéralogie, géochimie et contexte géodynamique de mise en place. *Thèse. Magister. FSTGAT. IST. USTHB. Alger*, 155pp.
- СНІКІАОУІ, М., 1974.** Les ignimbrites et les roches basiques du Précambrien supérieur des Monts d'Ougarta (Saoura). *Thèse. 3^{ème} cycle. IST. USTHB. Alger.*
- СНІКІАОУІ, М., 1981.** Les roches volcaniques du Protérozoïque supérieur de la chaîne panafricaine (Hoggar, Anti-Atlas, Adrar des Iforas). Caractérisation géochimique et minéralogique; implications géodynamiques. *Thèse. Doct. Etat. Univ. Sci. Techn. Languedoc.*, 156p.
- DONZEAU, M., 1971.** Etude structurale dans le paléozoïque des Monts de l'Ougarta. *Thèse. 3^{ème} cycle. Fac. Sci. Orsay.*, 40p.
- DOSTAL, J., CABY, R., KEPPIE, J.D. ET MAZA M., 2000.** Néoprotérozoic magmatisme in South Western Algeria (Sebkhath el Melah inlier) : a northerly extension of the transaharian orogen. Extension of the transaharan orogen. *Note sous presse au journal african carth Science.*
- FODOR, R.V., 1971.** Fe contents in pyroxenes from calc-alkalic volcanic suite, New Mexico, USA. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 11 : 385-390.
- GILL, J.B., 1981.** orogenic andesite and plate tectonics in minerals and rocks. Hedelberg (Ed.).
- GRAVIOU, P., 1984.** Pétrogenèse des magmas calco-alcalins : exemple des granotoïdes cadomiens de la région trégorroise (Massif Armoricain). *Thèse. 3^{ème} cycle. Univ. Rennes I*, 326p.
- GREEN, TH., 1980.** Island arc and continent-bulding magmatism- a review of petrogenic models based on experimental petrology and geochemistry. *Tectonophysics.*, 63, : 367-385.
- HARRIS, N.B.W., PEARCE, J.A. ET TINDLE, A.G., 1986.** Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *Geol. Soc. Special. Pub*, n°19: 67-81.
- LETTERIER, J., MAURY, R., THONON, P., GIRARD, D. ET MARCHAL, M., 1982.** Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleovolcanic series. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 59: 139-154.
- MAZA, M., 1998.** Transition magmatisme tholéiitique-alcalin en contexte infra-continentale: "exemple du point chaud" du Hoggar. *Thèse. Doct. Univ. Montpellier II*, 216p.
- MAURY, R.C., LETERRIER, J. ET JACQUES, D., 1988.** Critères de distinction entre magmas tholéiitiques et calco-alcalins d'arc insulaire : exemple de l'arc de Luzon, Philippines. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 306, Sér 11, : 1465-1470.
- OUEDRAGO, A., BÉBIEN, J. ET DESMET, A., 1988.** Contribution de l'étude des clinopyroxènes à la connaissance d'associations paléovolcaniques : exemple du magmatisme alcalin du Loggar oriental (Afghanistan). *C.R. Acad. Sci. Paris*, t.306, Sér II: 1187-1192.
- PEUCAT, J.J., CAPDEVILA, R., DRARENI, A., CHOUKROUNE, P., FANNING, C.M., GRIFFITHS, J.B., ET FOURCADE, S., 1996.** Major and trace element geochemistry and isotope (Sr, Nd, Pb, O) systematics of an Archean basement involved in a 2.0 Ga very high-temperature (1000°C) metamorphic event: In Ouzzal Massif, Hoggar, Algeria. *J. Metamorphic. geol.*, 14: 667-692.
- PICHAVANT, M., 1993.** Anatexie crustale et volcanisme. *Mém. Soc. géol. France.*, n° 163: 139-146.
- PUGA, E., 1980.** Hypothèses sur la genèse des magmas calco-alcalins, intra-orogénique et post-orogénique alpins dans les cordillères bétiques. *Bull. Soc. géol. France*, t. XXII, n°2: 243-250.

- REMICHI, L., 1987. Etude géologique du précambrien du Damrane (Chaînes de l'Ougarta, Algérie). Le volcanisme et les minéralisations associées. *Univ. P et M. Curie (Paris 6)*, 177p.
- RICKWOOD, P.C., 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos.*, 22, : 247-263.
- SEDDIKI, A., 1997. Etude pétrologique et géochimique des roches magmatiques de Boukaïs (Nord-ouest de Béchar, Algérie sud-occidentale). Contribution à une étude géodynamique de la région à l' infracambrien. *Thèse. Magist. Lab. Pétrostruct. IST, USTHB, Alger.*
- SONAREM, 1976-1977. Rapport de recherche systématique sur la feuille à 1/200 000 de Kerzaz.
- TREUIL, M., JORON, J.L., JAFFREZIC, H., VILLEMANT, B. ET CALAS, G., 1979. Géochimie des éléments hygromagmatophiles, coefficients de partage minéraux / liquides et propriétés structurales de ces éléments dans les liquides magmatiques. *Bull. Minéral.*, 102, : 402-409.
- VELDE, D., 1970. Les filons doléritiques du Nord de Bretagne. *Bull. Soc. géol. France (7)*, XII, n°5, : 843-855.

Annexe

Tableau I.1- Compositions chimiques et formules structurales des plagioclases (sur la base de 32 oxygènes) dans les roches de coulées andésito-basaltiques. Basaltes (éch B16); andésites basiques (éch : A22 et A23); andésites (éch: A25). m: microlites

Chemical compositions and structural formulas of plagioclases (on the basis of 32 oxygen) in the andésito-basaltic rocks of castings . Basalts (sample: B16); basic andesites (sample: A22 and A23); andesites (sample: A25). m: microlites

N°éch	B16	B16	B16	B16	B16	B16	A22	A22	A23	A23	A23	A25	A25	A25	A25	A25
N° analyse	224m	212m	211	219	216	220	50	51	239m	234	235	65	68	73	77	78
SiO ₂	63,86	66,96	68,49	67,21	63,98	68,00	69,03	68,61	68,18	68,41	69,06	54,43	67,98	68,49	52,89	68,72
TiO ₂	0,18	0,08	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00	0,06
Al ₂ O ₃	17,79	20,33	20,11.	20,02	22,05	20,44	20,20	19,99	19,68	19,06	19,33	28,29	20,09	20,15	28,47	19,69
FeO _t	3,09	0,51	0,06	0,08	0,33	0,05	0,15	3,15	0,15	0,13	0,11	0,74	0,26	0,31	0,32	0,03
MnO	0,08	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,26	0,00	0,00	0,02	0,05
MgO	2,29	0,10	0,01	0,03	0,15	0,00	0,17	0,02	0,00	0,03	0,01	0,29	0,14	0,28	0,20	0,00
CaO	2,94	0,90	0,60	1,05	1,29	1,04	0,18	0,00	0,36	0,35	0,47	9,44	0,49	0,41	11,29	0,33
Na ₂ O	9,89	10,80	10,98	11,08	9,35	10,90	11,97	12,03	11,80	11,63	11,76	4,21	11,23	10,99	4,00	11,41
K ₂ O	0,16	0,54	0,14	0,02	1,67	0,05	0,43	0,15	0,09	0,22	0,09	1,96	0,33	0,60	0,96	0,19
Total	100,26	100,22	100,46	99,48	98,89	100,47	102,13	103,95	100,26	99,89	100,93	99,67	100,57	101,22	98,15	100,48
Formules structurales																
Si	11,459	11,751	11,908	11,830	11,436	11,833	11,861	11,742	11,911	11,994	11,981	9,914	11,849	11,862	9,767	11,954
Al	3,759	4,201	4,116	4,151	4,642	4,189	4,088	4,029	4,049	3,936	3,949	6,069	4,124	4,109	6,191	4,034
Ti	0,024	0,011	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,005	0,000	0,000	0,008
Fe ₂	0,464	0,075	0,008	0,011	0,049	0,007	0,022	0,450	0,022	0,020	0,016	0,113	0,038	0,045	0,049	0,005
Mn	0,012	0,000	0,007	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,015	0,040	0,000	0,000	0,003	0,007
Mg	0,613	0,027	0,001	0,007	0,040	0,000	0,044	0,005	0,000	0,007	0,003	0,077	0,036	0,072	0,054	0,000
Ca	0,565	0,169	0,112	0,197	0,247	0,194	0,033	0,000	0,068	0,065	0,087	1,842	0,092	0,077	2,234	0,062
Na	3,439	3,674	3,703	3,781	3,241	3,677	3,988	3,992	3,998	3,955	3,956	1,488	3,794	3,690	1,432	3,849
K	0,036	0,122	0,030	0,004	0,381	0,011	0,094	0,033	0,020	0,048	0,019	0,456	0,074	0,132	0,226	0,042
Total cations	20,37	20,03	19,89	19,98	20,05	19,91	20,13	20,25	20,07	20,03	20,03	20,01	20,01	19,99	19,96	19,96
Ab	85,10	92,70	96,30	95,00	83,800	94,70	96,90	99,20	97,80	97,20	97,40	39,30	95,80	94,60	36,80	97,40
An	14,00	4,30	2,90	4,90	6,400	5,00	0,80	0,00	1,70	1,60	2,10	48,70	2,30	2,00	57,40	1,60
Or	0,90	3,10	0,80	0,10	9,80		2,30	0,80	0,50	1,20	0,50	12,00	1,90	3,40	5,80	1,10

Tableau I.2 - Compositions chimiques et formules structurales des plagioclases (sur la base de 32 oxygènes) dans les dolérites (éch: D2, D5 et D6); les microgabbros (éch : Mg30) et les syénites (Mz39). m: microlites

Chemical compositions and structural formulas of plagioclases (on the basis of 32 oxygen) in the dolerites (sample: D2, D5 and D6); microgabbros (sample: Mg30) and syenites (sample: Mz39). m: microlites

N°éch	D2	D2	D2	D2	D5	D5	D5	D6	Mg30	Mz39	Mz39	Mz39						
N° analyse	51	52	56	57	58m	64m	68m	81m	30m	32m	35m	37m	53m	56m	58	52	58	62
SiO ₂	51,32	51,42	52,61	53,08	58,48	60,49	52,30	67,20	64,85	65,02	63,60	63,44	52,41	52,49	51,68	71,43	69,74	70,18
TiO ₂	0,07	0,07	0,10	0,11	0,07	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,05	0,09	0,09	0,00	0,00	0,09
Al ₂ O ₃	30,24	30,14	29,01	29,28	26,62	24,63	27,62	21,28	21,64	20,75	22,40	22,70	28,60	28,21	30,05	19,66	19,65	19,72
FeO	0,85	0,59	1,11	1,30	0,61	0,77	2,88	0,00	0,52	0,23	0,39	0,42	0,78	0,86	0,54	0,05	0,00	0,00
MnO	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,16	0,00	0,06
MgO	0,15	0,19	0,16	0,30	0,05	0,25	2,06	0,00	0,16	0,02	0,29	0,31	0,17	0,20	0,14	0,01	0,01	0,01
CaO	13,65	14,36	13,29	12,89	7,46	3,95	9,85	1,33	1,28	1,64	1,03	1,36	12,77	13,08	13,39	0,32	0,28	0,04
Na ₂ O	3,61	3,25	4,05	4,05	5,93	7,76	4,82	11,77	9,76	10,70	9,22	9,18	3,81	3,94	3,74	11,21	11,00	10,79
K ₂ O	0,36	0,44	0,53	0,48	1,91	2,41	0,39	0,07	1,43	0,53	1,80	1,91	0,37	0,46	0,45	0,12	0,09	0,10
Total	100,28	100,46	100,90	101,50	101,13	100,26	100,15	101,71	99,64	98,89	98,81	99,45	98,98	99,33	100,08	102,96	100,77	100,99

Formules structurales

Si	9,356	9,358	9,545	9,560	10,415	10,823	9,582	11,626	11,504	11,596	11,378	11,308	9,638	9,646	9,420	12,087	12,046	12,074
Al	6,492	6,459	6,199	6,210	5,583	5,190	5,959	4,336	4,521	4,358	4,719	4,765	6,194	6,105	6,451	3,918	3,997	3,996
Ti	0,009	0,010	0,014	0,015	0,009	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,007	0,012	0,012	0,000	0,000	0,011
Fe ²⁺	0,129	0,090	0,169	0,196	0,091	0,115	0,441	0,000	0,077	0,035	0,058	0,063	0,120	0,132	0,083	0,008	0,000	0,000
Mn	0,007	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,019	0,009	0,000	0,000	0,000	0,020	0,003	0,000	0,000	0,023	0,000	0,009
Mg	0,040	0,052	0,044	0,080	0,013	0,067	0,563	0,000	0,042	0,005	0,077	0,082	0,047	0,055	0,038	0,003	0,003	0,001
Ca	2,666	2,800	2,583	2,487	1,423	0,757	1,934	0,247	0,243	0,313	0,197	0,260	2,516	2,575	2,615	0,057	0,052	0,008
Na	1,276	1,145	1,425	1,415	2,048	2,692	1,712	3,948	3,357	3,700	3,198	3,173	1,359	1,404	1,322	3,679	3,684	3,601
K	0,084	0,102	0,123	0,111	0,434	0,550	0,091	0,015	0,324	0,121	0,411	0,434	0,087	0,108	0,105	0,027	0,020	0,023
Total cations	20,06	20,02	20,11	20,07	20,02	20,19	20,32	20,18	20,07	20,130	20,05	20,11	19,97	20,04	20,05	19,80	19,80	19,72
Ab	31,70	28,30	34,50	35,30	52,40	67,30	45,80	93,80	85,60	89,50	84,00	82,10	34,30	34,40	32,70	97,80	98,10	99,10
An	66,20	69,20	62,50	62,00	36,40	18,90	51,80	5,90	6,20	7,60	5,20	6,70	63,50	63,00	64,70	1,50	1,40	0,20
Or	2,10	2,50	3,00	2,80	11,10	13,80	2,40	0,40	8,30	2,90	10,80	11,20	2,20	2,60	2,60	0,70	0,50	0,60

Tableau II.1 - Compositions chimiques et formules structurales des clinopyroxènes (sur la base de 06 oxygènes) dans les roches de coulées andésito-basaltiques. Basaltes (éch: B16 et B17); andésites basiques (éch : A22 et A23); andésites (éch: A25). FeOt: fer total exprimé sous forme de FeO

Chemical compositions and structural formulas of clinopyroxenes (on the basis of 06 oxygen) in the andésito-basaltic rocks of castings in the volcanic rocks. Basalts (sample: B16 and B17); basic andesites (sample: A22 and A23); andesites (sample: A25). FeOt: complete iron expressed in FeO

N° éch	B17	B17	B16	B16	B16	B16	B16	A22	A22	A23	A23	A23	A25	A25	A25
N° analyse	35	38	207	226	227	228	229	46	48	126	127	242	66	72	75
SiO ₂	51,29	50,06	52,38	51,92	53,08	52,28	52,80	52,06	51,45	52,39	51,49	51,49	51,46	52,46	51,48
TiO ₂	0,64	0,79	0,53	0,49	0,17	0,42	0,44	0,32	0,43	0,63	0,60	0,60	0,66	0,71	0,51
Al ₂ O ₃	2,73	2,47	2,87	2,29	1,97	2,77	2,28	2,84	3,23	2,47	2,83	2,83	1,93	1,73	3,07
FeOt	9,91	11,09	8,93	9,13	6,26	7,99	8,45	7,10	7,68	8,78	10,64	10,64	10,47	10,64	6,19
Cr ₂ O ₃	0,35	0,04	0,24	0,30	0,41	0,77	0,23	0,05	0,61	0,12	0,22	0,22	0,00	0,17	0,06
MnO	0,43	0,30	0,27	0,19	0,22	0,33	0,34	0,15	0,21	0,37	0,20	0,20	0,50	0,61	0,12
MgO	16,00	15,34	15,88	15,76	16,77	15,45	16,12	16,84	15,36	15,25	15,67	15,67	14,41	14,34	16,03
CaO	19,01	18,58	19,36	19,40	20,83	19,81	19,53	19,38	19,92	19,90	18,14	18,14	21,08	20,43	22,87
Na ₂ O	0,27	0,23	0,27	0,20	0,23	0,30	0,25	0,24	0,32	0,28	0,29	0,29	0,28	0,26	0,14
K ₂ O	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Total	100,63	98,93	100,73	99,68	99,94	100,11	100,44	98,98	99,23	100,18	100,08	100,08	100,78	101,34	100,47
Formule structurale															
Si	1,888	1,882	1,923	1,928	1,947	1,931	1,941	1,927	1,914	1,938	1,909	1,909	1,906	1,937	1,881
Al IV	0,112	0,109	0,077	0,072	0,053	0,069	0,059	0,073	0,086	0,062	0,091	0,091	0,084	0,063	0,119
Al VI	0,007	0,000	0,047	0,028	0,033	0,052	0,040	0,050	0,055	0,046	0,033	0,033	0,000	0,012	0,013
Ti	0,018	0,022	0,015	0,014	0,005	0,012	0,012	0,009	0,012	0,017	0,017	0,017	0,018	0,020	0,014
Fe ³⁺	0,088	0,082	0,019	0,030	0,026	0,014	0,013	0,022	0,030	0,002	0,045	0,045	0,068	0,030	0,088
Fe ²⁺	0,305	0,350	0,274	0,284	0,192	0,247	0,260	0,220	0,239	0,271	0,330	0,330	0,324	0,328	0,189
Mg	0,878	0,860	0,869	0,873	0,917	0,851	0,884	0,929	0,852	0,841	0,866	0,866	0,796	0,789	0,873
Cr	0,010	0,001	0,007	0,009	0,012	0,022	0,007	0,001	0,018	0,003	0,007	0,007	0,000	0,005	0,002
Mn	0,013	0,010	0,008	0,006	0,007	0,010	0,011	0,005	0,007	0,012	0,006	0,006	0,016	0,019	0,004
Ca	0,750	0,749	0,761	0,772	0,819	0,784	0,769	0,768	0,794	0,789	0,721	0,721	0,836	0,808	0,896
Na	0,019	0,017	0,019	0,014	0,016	0,021	0,018	0,017	0,023	0,020	0,021	0,021	0,020	0,019	0,010
K	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total cations	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
WO	38,52	38,06	39,80	39,91	42,32	41,44	40,00	39,98	41,98	41,23	37,48	37,47	42,41	41,55	45,66
EN	45,11	43,72	45,44	45,12	47,40	44,97	45,94	48,34	45,04	43,97	45,04	45,04	40,35	40,58	44,51
FS	16,37	18,22	14,76	14,97	10,28	13,59	14,06	11,68	12,98	14,80	17,48	17,48	17,23	17,87	9,83

**Tableau II.2 - Compositions chimiques et formules structurales des clinopyroxènes (sur la base de 06 oxygènes) dans les dolérites (éch: D5 et D6) et les microgabbros (éch : Mg29, Mg30 et Mg34)
FeOt: fer total exprimé sous forme de FeO.**

*hemical compositions and structural formulas of clinopyroxenes (on the basis of 06 oxygen) in the dolerites (sample: D5 and D6) and microgabbros (sample: Mg29, Mg30 and Mg34).
FeOt: complete iron expressed in FeO.*

N° éch	D6	D5	D5	D5	D6	D6	D6	D6	D6	Mg34	Mg34	Mg34	Mg30	Mg29	Mg29	Mg29	Mg29	Mg29
N° analyse	43	47	55	61	72	79	80	82	83	14	22	25	58	60	61	62	63	64
SiO2	51,25	50,62	51,62	51,84	52,87	53,66	51,22	52,88	53,15	50,49	49,05	51,06	50,60	50,78	50,16	50,28	52,20	50,73
TiO2	0,55	0,51	0,59	0,60	0,27	0,19	0,57	0,29	0,30	0,61	0,76	0,38	0,57	0,55	0,58	0,50	0,48	0,38
Al2O3	2,75	3,10	2,60	2,40	2,07	2,02	3,35	1,61	2,04	2,01	4,02	2,32	3,18	2,87	3,80	3,65	2,83	3,24
FeOt	9,43	11,60	10,80	9,99	3,95	4,16	6,55	5,04	5,87	10,34	9,72	8,79	8,32	8,07	9,94	8,18	7,20	7,01
Cr2O3	0,47	0,19	0,35	0,09	0,25	0,56	0,37	0,34	0,00	0,00	0,00	0,15	0,34	0,41	0,10	0,38	0,47	0,21
MnO	0,14	0,21	0,28	0,27	0,05	0,13	0,18	0,22	0,15	0,24	0,22	0,14	0,38	0,05	0,27	0,36	0,21	0,33
MgO	15,67	15,57	14,98	15,07	16,35	16,51	15,30	16,82	16,46	14,53	14,13	16,06	15,44	15,55	14,88	15,18	15,60	15,95
CaO	19,03	17,57	18,44	19,73	23,45	23,36	22,40	22,47	22,49	20,02	20,83	19,74	21,47	21,83	20,88	21,39	22,07	22,02
Na2O	0,23	0,31	0,33	0,28	0,14	0,13	0,16	0,10	0,18	0,20	0,21	0,22	0,28	0,24	0,35	0,33	0,23	0,30
K2O	0,02	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05
Total	99,55	99,75	99,99	100,30	99,40	100,72	100,10	99,79	100,63	98,44	98,96	98,86	100,61	100,36	100,96	100,27	101,28	100,20
Formules structurales																		
Si	1,907	1,885	1,923	1,92	1,943	1,949	1,886	1,94	1,936	1,911	1,842	1,906	1,858	1,868	1,842	1,852	1,901	1,860
Al IV	0,093	0,115	0,077	0,08	0,057	0,051	0,114	0,06	0,064	0,089	0,158	0,094	0,138	0,124	0,158	0,148	0,099	0,140
Al VI	0,027	0,021	0,037	0,03	0,033	0,036	0,031	0,01	0,024	0,001	0,020	0,007	0,000	0,000	0,006	0,010	0,023	0,000
Ti	0,015	0,014	0,017	0,02	0,007	0,005	0,016	0,008	0,008	0,017	0,021	0,011	0,016	0,015	0,016	0,014	0,013	0,011
Fe3	0,053	0,089	0,03	0,04	0,02	0,014	0,063	0,041	0,037	0,069	0,111	0,081	0,126	0,111	0,145	0,134	0,066	0,139
Fe2+	0,293	0,362	0,337	0,27	0,121	0,127	0,202	0,155	0,179	0,328	0,305	0,274	0,260	0,250	0,310	0,250	0,220	0,210
Mg	0,869	0,865	0,832	0,00	0,896	0,894	0,84	0,92	0,894	0,820	0,791	0,893	0,845	0,853	0,815	0,833	0,847	0,871
Cr	0,014	0,005	0,01	0,83	0,007	0,016	0,011	0,01	0	0,000	0,000	0,004	0,010	0,012	0,003	0,011	0,013	0,006
Mn	0,005	0,007	0,009	0,01	0,002	0,004	0,006	0,007	0,005	0,008	0,007	0,004	0,012	0,002	0,008	0,011	0,006	0,010
Ca	0,759	0,701	0,736	0,78	0,924	0,909	0,884	0,883	0,878	0,812	0,838	0,789	0,845	0,860	0,822	0,844	0,861	0,865
Na	0,017	0,023	0,024	0,02	0,01	0,009	0,012	0,007	0,013	0,015	0,015	0,016	0,020	0,017	0,025	0,024	0,016	0,021
K	0,001	0,003	0	0,00	0	0	0	0,001	0	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002
Total cations	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
WO	39,40	36,26	38,47	40,51	47,55	47,02	45,77	44,95	44,89	41,28	43,17	40,24	43,16	43,82	42,14	43,50	44,53	44,09
EN	45,13	44,71	43,48	43,05	46,12	46,24	43,50	46,84	45,73	41,69	40,75	45,55	43,18	43,44	41,78	42,94	43,80	44,44
FS	15,47	19,03	18,05	16,45	6,33	6,74	10,73	8,21	9,37	17,03	16,08	14,21	13,66	12,74	16,09	13,57	11,67	11,47

Tableau III - Composition chimique en éléments majeurs et norme CIPW des roches volcaniques. Dolérites (éch: D1 à D4), basaltes (éch: B16 à B20), andésites basiques (éch: A 21 à A12); andésites (éch: A24 et A25)

Chemical composition in major elements and standard CIPW of the volcanic rocks. Dolerites (sample: D1 with D4), basalts (sample: B16 with B20), andesites basic (sample: A21 with A12); andesites (sample: A24 and A25)

N°éch	D1	D3	D4	B16	B17	B19	B20	A21	A22	A10	A11	A12	A24	A25
SiO ₂	46,00	49,10	52,20	51,40	51,50	51,91	52,92	53,40	53,40	53,60	54,80	55,20	56,30	57,98
Al ₂ O ₃	16,06	18,10	18,14	13,00	16,60	17,21	16,27	12,70	12,50	17,90	16,02	16,40	16,60	15,47
Fe ₂ O ₃	1,51	1,18	1,14	1,34	1,24	1,21	1,28	1,39	1,37	1,38	1,10	0,99	1,12	1,00
FeO	9,04	7,07	6,84	8,04	7,43	7,28	7,66	8,36	8,22	8,29	6,58	5,91	6,74	6,00
MnO	0,19	0,16	0,14	0,15	0,16	0,25	0,11	0,17	0,16	0,16	0,14	0,24	0,15	0,15
MgO	7,30	3,58	3,30	7,70	2,67	2,38	2,30	6,00	5,70	3,43	3,10	3,30	2,52	2,35
CaO	9,67	9,25	6,73	9,25	10,09	8,51	8,27	8,47	9,28	5,33	7,43	3,29	2,66	3,81
Na ₂ O	2,33	4,76	3,64	3,09	5,56	6,34	4,52	4,41	5,51	4,36	4,00	4,07	4,86	4,07
K ₂ O	0,17	0,86	2,70	1,29	0,24	0,60	1,34	0,54	0,30	2,34	1,84	3,82	5,20	5,11
TiO ₂	1,72	0,68	0,84	0,78	0,62	0,77	0,87	0,88	0,75	0,82	0,72	0,91	0,78	0,83
P ₂ O ₅	0,22	0,21	0,25	0,24	0,15	0,28	0,49	0,24	0,17	0,13	0,28	0,33	0,34	0,64
L.O.I.	4,17	4,20	2,73	2,77	3,68	2,80	3,56	2,50	3,24	2,30	2,16	4,48	1,61	1,37
Total	98,38	99,15	98,65	99,05	99,94	99,54	99,59	99,06	100,60	99,65	98,17	98,94	98,88	98,78
Norme CIPW														
Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	3,38	1,88	0,00	2,06
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00
Or	1,07	5,35	16,63	7,92	1,47	3,66	8,25	3,30	1,82	14,50	11,32	23,90	31,59	31,00
Ab	20,93	32,61	32,11	27,16	38,73	40,65	39,83	38,64	42,32	37,74	35,25	36,46	41,02	35,35
An	34,88	26,84	26,25	18,48	20,39	17,29	20,98	13,73	8,72	22,88	21,17	15,00	8,35	9,09
Ne	0,00	5,31	0,00	0,00	5,50	8,02	0,00	0,00	3,02	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00
Cpx	11,88	16,72	5,72	22,49	25,82	20,69	15,61	23,19	30,88	2,77	12,79	0,00	2,47	5,06
Wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Opx	18,90	0,00	11,42	13,77	0,00	0,00	10,31	14,40	0,00	12,21	12,31	18,21	0,00	12,80
Oliv	6,02	9,50	3,88	6,06	4,64	5,68	0,00	2,33	9,33	6,30	0,00	0,00	11,88	0,00
Mt	2,32	1,80	1,72	2,02	1,87	1,81	1,93	2,09	2,04	2,05	1,66	1,52	1,67	1,49
Il	3,47	1,36	1,66	1,54	1,22	1,51	1,72	1,73	1,46	1,59	1,42	1,83	1,52	1,62
Ap	0,55	0,52	0,62	0,59	0,37	0,69	1,21	0,59	0,41	0,32	0,69	0,83	0,83	1,56
ID	21,99	43,28	48,74	35,07	45,70	52,33	48,27	41,95	47,16	51,89	49,96	62,64	73,29	68,41

Tableau IV - Composition chimique en éléments majeurs et norme CIPW des microgabbros (éch: Mg27 à Mg34)
et des syénites (éch: Mz35 à Mz40)

*Chemical composition in major elements and standard CIPW of the microgabbros (sample: Mg27 with Mg34)
and of syenites (sample: Mz35 with Mz40)*

N° éch	Mg27	Mg29	Mg30	Mg31	Mg32	Mg33	Mg34	Mz35	Mz36	Mz39	Mz40
SiO ₂	49,90	50,00	50,85	51,80	52,40	52,60	52,93	57,20	60,00	61,80	62,50
Al ₂ O ₃	16,20	15,21	15,92	18,20	18,90	17,10	19,43	18,03	16,60	16,30	16,20
Fe ₂ O ₃	1,30	1,26	1,32	0,99	0,97	1,30	0,97	0,29	0,41	0,79	0,75
FeO	7,82	7,57	7,89	5,91	5,81	7,82	5,82	1,76	2,43	4,76	4,52
MnO	0,24	0,35	0,24	0,16	0,16	0,16	0,11	0,02	0,10	0,10	0,09
MgO	4,33	5,95	4,79	3,35	2,72	4,14	2,73	0,45	0,50	0,81	1,10
CaO	6,31	7,15	6,45	6,86	6,87	4,77	3,91	8,00	4,41	3,79	2,66
Na ₂ O	4,00	3,80	4,02	3,82	4,20	3,90	4,88	5,06	5,75	5,30	5,48
K ₂ O	4,40	3,26	4,24	3,73	4,10	3,86	4,03	3,93	5,13	4,04	3,97
TiO ₂	0,80	0,80	0,86	0,91	0,73	0,77	0,87	0,34	0,49	0,62	0,73
P ₂ O ₅	0,32	0,39	0,46	0,31	0,27	0,22	0,62	0,10	0,12	0,18	0,23
L.O.I.	2,52	3,75	2,63	2,90	2,46	2,83	2,46	3,64	3,60	1,22	1,24
Total	98,14	99,49	99,67	98,94	99,59	99,47	98,76	98,82	99,54	99,71	99,47
Norme CIPW											
Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,85	0,39	5,38	6,66
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Or	27,19	20,12	25,82	22,95	24,94	23,60	24,73	24,40	31,60	24,24	23,88
Ab	19,07	24,34	21,69	29,35	26,51	34,15	39,45	44,98	50,71	45,53	47,20
An	13,86	15,48	13,26	22,38	21,22	18,37	15,94	15,63	4,52	8,89	8,02
Ne	8,84	5,01	7,24	2,33	5,46	0,00	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Cpx	13,88	15,55	13,77	9,07	10,07	3,86	0,00	7,42	9,66	7,76	3,31
Wo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,95	2,58	0,00	0,00
Opx	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	5,41	7,86
Oliv	12,82	15,08	13,47	9,87	8,28	15,50	11,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Mt	1,97	1,91	1,97	1,49	1,45	1,95	1,46	0,44	0,62	1,16	1,11
Il	1,59	1,59	1,68	1,80	1,43	1,51	1,72	0,68	0,97	1,20	1,41
Ap	0,79	0,96	1,12	0,76	0,66	0,54	1,52	0,25	0,30	0,43	0,55
ID	55,10	49,47	54,75	54,63	56,91	57,75	67,50	72,23	82,69	75,15	77,74

Tableau V - Teneurs en éléments en traces et terres rares d'échantillons représentatifs des roches volcaniques et plutoniques de Sebkhath el Melah

Contents of elements in traces and rare earths of representative samples of the volcanic and plutonic rocks of Sebkhath el Melah

N° éch	D5	D2	B16	B19	A21	A22	A10	Mg30	Mg34
<i>Eléments en traces (en ppm)</i>									
Ba	274	290	677	242	216	62	484	1470	1106
Sr	423	459	489	310	343	150	354	364	678
Y	20,15	19,55	17,85	11,91	18,53	16,26	16,91	15,95	15,55
Th	1,25	2,99	2,86	0,90	1,87	3,24	3,95	2,10	3,68
Zn	307	360	74	52	3461	57	73	96	81
Cu	83	88	44	84	37	34	32	96	103
Ni	58	68	126	32	118	109	51	56	24
V	197	216	251	181	203	256	231	300	232
Cr	143	159	359	46	303	3678	54	64	28
Co	32	34	42	22	36	37	33	32	19
Li	19	21	23	0	14	13	18	24	17
U	0,64	1,63	1,67	0,59	0,90	1,55	2,40	1,63	1,99
<i>Ni/Co</i>									
	1,81	2	3	1,45	3,28	2,95	1,55	1,75	1,26
<i>Terres rares (en ppm)</i>									
La	10,47	11,88	11,49	5,11	10,34	10,60	14,29	10,33	14,88
Ce	23,12	26,33	25,75	11,96	23,27	25,12	30,38	21,79	32,34
Pr	2,98	3,41	3,32	1,60	3,08	3,28	3,79	2,83	3,92
Nd	11,73	14,30	13,42	6,98	12,06	13,16	14,99	11,77	14,87
Sm	2,85	3,46	3,28	1,81	2,92	3,14	3,51	2,90	3,26
Eu	0,96	1,22	1,20	0,68	0,94	1,01	1,31	0,82	1,13
Gd	3,37	4,43	4,69	2,24	3,42	3,82	4,07	3,38	3,68
Tb	0,51	0,73	0,65	0,36	0,55	0,65	0,69	0,55	0,57
Dy	3,05	4,49	4,01	2,24	3,29	4,14	4,27	3,34	3,36
Ho	0,60	0,92	0,82	0,45	0,66	0,83	0,85	0,65	0,65
Er	1,76	2,61	2,31	1,30	1,92	2,44	2,45	1,94	1,92
Tm	0,24	0,39	0,35	0,18	0,27	0,36	0,36	0,29	0,27
Yb	1,56	2,73	2,38	1,23	1,76	2,52	2,50	1,91	1,87
Lu	0,22	0,38	0,35	0,18	0,27	0,38	0,37	0,28	0,27
<i>La/Yb</i>									
	6,71	4,35	4,83	4,15	5,88	4,21	5,72	5,41	7,96
<i>Eu/Eu*</i>									
	0,95	0,95	0,94	1,03	0,91	0,89	1,06	0,80	1,00
<i>(La/Eu)_N</i>									
	2,67	2,38	2,34	1,84	2,69	2,57	2,67	3,08	3,22
<i>(Eu/Yb)_N</i>									
	1,80	1,31	1,48	1,62	1,57	1,17	1,54	1,26	1,77