

Zonation pétrographique et géochimique d'une enclave basique dans une association acide-basique du secteur de N'Kob (Siroua sud-oriental, Anti-Atlas central, Maroc)

Selma SOUSSI TANANI & Abdelkader CHABANE

Mots-clés : Maroc, Anti-Atlas, Siroua, brèche magmatique, mélange acide-basique, diffusion thermique, diffusion chimique.

سلمى السوسي التتاني وعبد القادر شعبان

تنطبق صخاري وجيوكيمائي لحبيسة قاعدية في تجمع حامض - قاعدي في منطقة النقب (سيروا الجنوب- غربي، الأطلس الصغير الأوسط). تبين دراسة حبيسة قاعدية والحاضن، المنتميان للبروتيروزوي العلوي في قطاع النقب، وجود نطاقات بتروغرافية وكميائية ترجع لتدخل عدة عوامل فيزيائية وكميائية وقعت بين الصهارات في البداية وبين الصخور المتصلبة بعد ذلك. وتتجلى هذه العوامل أساسا في الانتشار الحراري الراجع إلى التماس المنعرج بين الحاضن والحبيسة وجوانب الحبيبات الدقيقة والانتشار الكميائي المحدود والإختياري.

RESUME

L'étude d'une enclave basique et de son encaissant granodioritique d'âge protérozoïque supérieur au secteur de N'Kob (Siroua sud-oriental, Anti-Atlas central, Maroc) révèle l'existence de zonations pétrographiques et géochimiques dues à l'intervention de différents processus physiques et chimiques se produisant entre magmas dans un premier temps, puis entre roches consolidées. Ces processus sont essentiellement la diffusion thermique, traduite par des contacts sinueux entre l'encaissant et l'enclave, et des bordures à grains fins, et la diffusion chimique plus limitée et sélective.

ABSTRACT

Petrographic and geochemical zonation of a basic enclave in a magmatic breccia of N'Kob sector (south-eastern Siroua, central Anti-Atlas, Morocco). The study of a basic enclave and its Proterozoic enclosing granodiorite in the N'Kob area, shows the existence of a petrographic and geochemical zonation which results from different physical and chemical processes which, first occurred between magmas, and afterwards between rocks. These processes are thermal diffusion, reflected by sinuous contacts between the host-rock and the enclave, fine-grained margins, and limited and selective chemical diffusion.

INTRODUCTION

De nombreux travaux effectués ces dernières années ont permis de souligner le rôle joué par les mélanges de magmas parmi les processus conduisant à la genèse des roches ignées : les mélanges rendent compte de la formation de magmas de compositions intermédiaires, du déclenchement de certaines éruptions volcaniques, etc... (DIDIER, 1973 ; ANDERSON, 1976 ; SPARKS & SIGURDSSON, 1977 ; DIDIER & al., 1982 ; GOURGAUD, 1985 ; HUPPERT & SPARKS, 1988 ; ZORPI & al., 1989, 1991 ; DIDIER & BARBARIN, 1991 ; WIEBE, 1994 ; ARAÑA & al., 1994 ; NEVES & VAUCHEZ, 1995 ; PRESTON & al., 1999 ; POLI & TOMMASINI, 1999).

Les associations des roches acides et basiques résultant de la mise en contact de magmas de composition contrastée présentent donc un intérêt primordial ; ainsi, est il intéressant de connaître la nature des processus intervenant au cours des

mélanges magmatiques et ceci grâce à des observations détaillées de l'ensemble des variations texturales, minéralogiques et chimiques pouvant exister de part et d'autre des interfaces entre roches acides et basiques. Une telle approche a été utilisée par de nombreux auteurs (WIEBE, 1973, 1997 ; ANDRE, 1983 ; BELIN, 1988 ; CORCITA & al., 1989).

Le présent travail va dans ce sens, et sera focalisé sur l'analyse détaillée de la relation pétrologique entre une enclave basaltique et sa granodiorite du secteur de N'kob (Siroua sud-oriental, Anti-Atlas central).

CADRE GEOLOGIQUE

Le massif de Siroua est situé dans la partie centrale de la chaîne de l'Anti-Atlas (Fig. 1). Ce dernier est affecté par l'Accident majeur de l'Anti-Atlas (CHOUBERT, 1963) qui le subdivise en deux grands

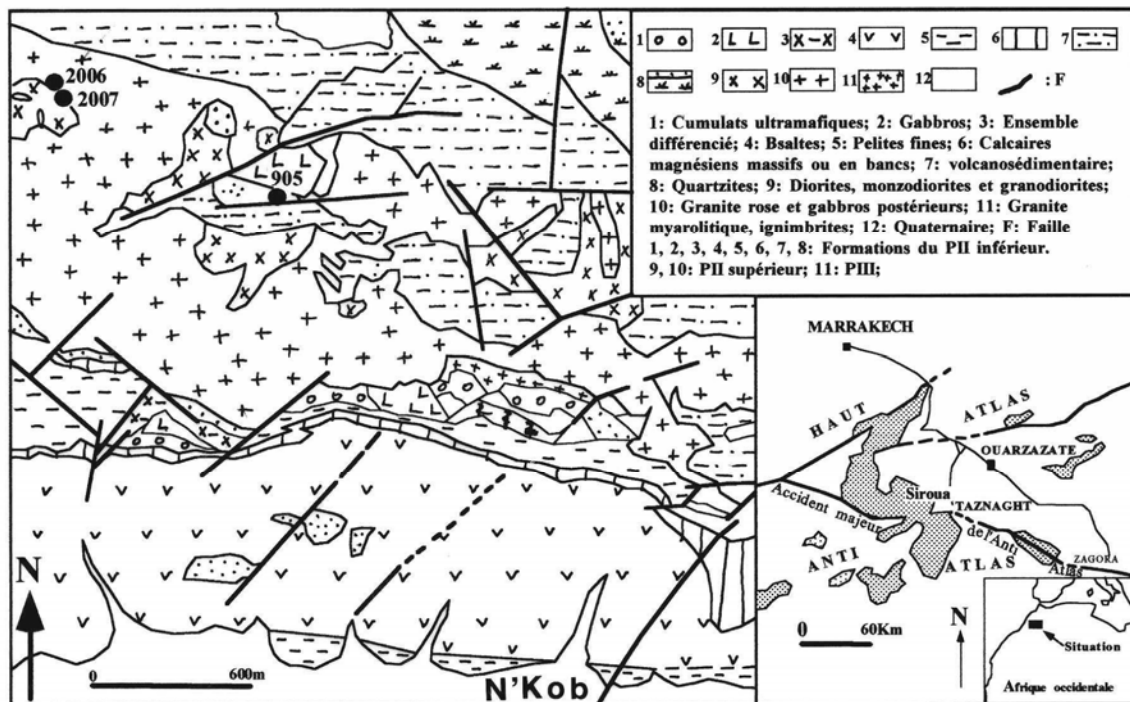


Figure 1 : Localisation du secteur du N’Kob dans le massif de Siroua (EL BOUKHARI & al., 1985).

ensembles :

- le premier, au SW, forme la bordure nord du craton éburnéen ouest-africain ;
- le deuxième, au NE, constitue la zone mobile de l’Anti-Atlas, marquée par les ophiolites de Bou Azzer et du Siroua, d’âge néoproterozoïque.

Les affleurements ophiolitiques du massif de Siroua se répartissent en deux zones : la zone de Khzama, dans la partie NE de ce massif, et la zone de N’Kob, dans sa partie SE, à une vingtaine de kilomètres à vol d’oiseau de Khzama.

La zone de N’Kob, située à proximité de l’Accident majeur de l’Anti-Atlas, comprend un cortège ophiolitique composé de cumulats ultramafiques et mafiques et de basaltes. Dans sa partie sud, vers le NW, se développent des diorites, des granodiorites, et des monzodiorites tardives recoupant le complexe ophiolitique. L’ensemble est intrudé par un granite rose.

Les travaux d’EL BOUKHARI & al. (1985) et plus récemment ceux de LAHMAM & al. (1999) ont permis de mieux connaître les relations et la nature des contacts entre les roches acides et basiques dans ce secteur.

Le composant basique, représenté par un basalte, forme des fragments de taille variable, du cm³ à

plusieurs m³. Les différentes enclaves sont cimentées par un magma acide (granodiorite) qui peut, à son tour, apparaître en enclaves au sein du matériel basique.

Dans la majorité des cas, les contacts entre ces deux roches présentent des sinuosités plus ou moins complexes. Les contacts francs et rectilignes sont rares.

Les enclaves basiques présentent le plus souvent des formes ellipsoïdales ; des enclaves sphériques peuvent être distinguées, mais elles sont plus rares.

Une enclave de 30 cm de large et 51 cm de longueur, emballée dans un encaissant granodioritique assez homogène a été sélectionnée pour cette étude. L’échantillon prélevé a été découpé en plusieurs plaquettes à peu près parallèles à la surface séparant la roche acide de la roche basique (Fig. 2), dans le but d’étudier les échanges entre magmas en fonction de la distance par rapport à l’interface.

ETUDE PETROGRAPHIQUE ET MINERALOGIQUE

L’étude pétrographique a été réalisée sur des lames minces en lumière naturelle et transmise. Les

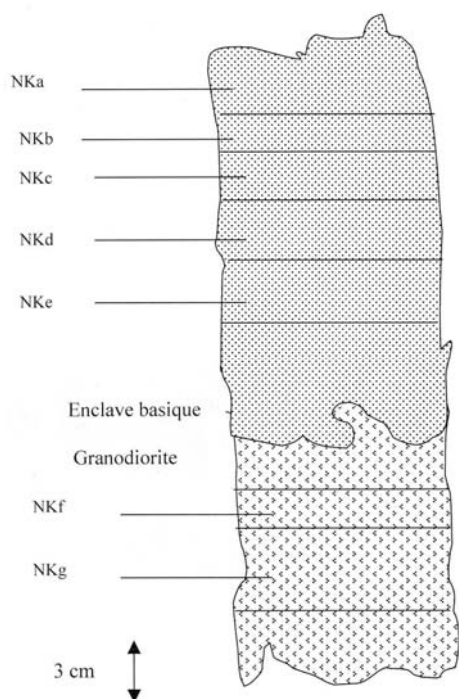


Figure 2 : Découpage de l'échantillon étudié.

analyses chimiques des minéraux ont été effectuées au moyen des microsondes MS46 et CAMEBAX du Service commun de micro-analyses de Nancy (France).

Les analyses chimiques des roches totales ont été réalisées par fluorescence X au Laboratoire d'analyses des Sciences de la Terre de l'Université Henri Poincaré de Nancy.

ENCAISSANT GRANODIORITIQUE

La granodiorite est de couleur gris clair, de texture microgrenue porphyrique et se compose de :

- quartz (30%), qui cristallise le plus souvent en plages arrondies pouvant atteindre 2 mm de diamètre et englobant les autres phases minérales (plagioclase, biotite et épidote) ;
- plagioclase, phase minérale prédominante (40 à 45% du total de la roche) ; il se présente sous deux habitus : des phénocristaux automorphes, de 2 à 4 mm de long et 1 mm de large, très séricitisés et pouvant présenter un liseré périphérique frais ; et des lattes allongées (0,8 à 2 mm de long sur 0,4 mm de large) avec un centre altéré et une bordure saine ;
- feldspath potassique (10 à 20 % du total de la roche) se présentant en cristaux xénomorphes à subautomorphes perthitiques pouvant renfermer du plagioclase et de la biotite ;

- biotite, sous forme de paillettes de 0,1 mm en moyenne souvent chloritisées et englobées par le quartz et le feldspath potassique ;

- chlorite en tablettes de 0,2 mm en moyenne, cristallisant aux dépens de la biotite et dans les interstices entre le feldspath et le quartz ;

- phases accessoires rares et essentiellement représentées par l'épidote, l'apatite, le zircon et l'allanite.

Le contact entre la granodiorite et le matériel basique connaît des modifications d'ordre textural et minéralogique ; à 5 cm du contact avec l'enclave basique, la granodiorite devient plus sombre et apparaît plus appauvrie en phénocristaux de feldspath ; à 1 cm environ de l'interface, elle semble moins altérée ; la texture varie peu ; cependant, les plages de quartz sont plus grandes. Il y a persistance des phénocristaux de plagioclase renfermant des grains de quartz. Des associations symplectiques entre quartz et feldspath se développent autour des phénocristaux de plagioclase.

À 1 mm de l'interface acide-basique, la texture de la granodiorite devient plus fine, des plagioclases, en lattes allongées de 0,6 mm, paraissent se développer perpendiculairement à l'interface.

ENCLAVE BASIQUE

Elle correspond à une dolérite sombre à grain fin avec de nombreux phénocristaux de plagioclase de 3 à 4 mm de long. Cette enclave a un contour très sinueux (Fig. 3). Les dimensions de l'échantillon étudié sont insuffisantes pour la détermination d'une dimension fractale (BEBIEN & *al.*, 1987).

Au microscope, l'enclave basique montre une texture microgrenue porphyrique dont les phénocristaux de plagioclase sont éparpillés dans une matrice microcristalline constituée principalement de plagioclase et d'amphibole. La taille des cristaux de la matrice permet de distinguer un cœur grossier et une bordure plus fine.

Le cœur de l'enclave

Le plagioclase constitue 50% en moyenne des composants de la roche. Il cristallise sous deux formes :

- des phénocristaux de 3 à 4 mm de long, très séricitisés, formant parfois des groupements de plusieurs individus ; la mésostase est plus altérée à leur contact ;

- des lattes de 0,5 mm en moyenne et qui forment avec les minéraux ferromagnésiens la matrice de la

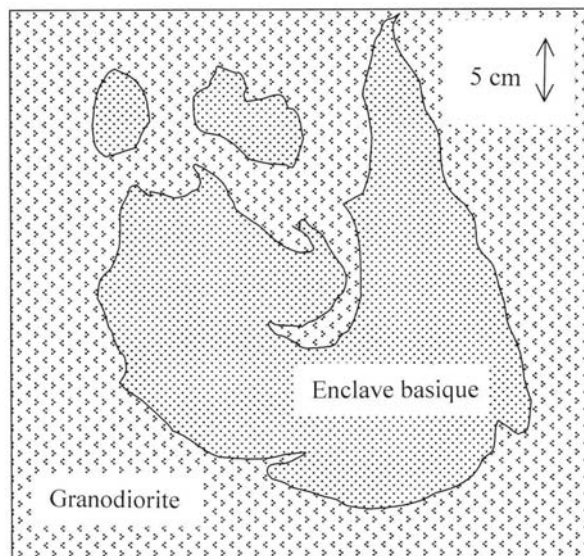


Figure 3 : Aspect du contact entre granodiorite et enclave basique.

roche apparaissent fortement séricitisés ; ces lattes moulent souvent les cristaux d'amphibole traduisant leur cristallisation tardive par rapport aux ferromagnésiens.

Les analyses à la microsonde électronique ont porté sur les microcristaux, l'état d'altération des phénocristaux ne permettant pas leur analyse. Les bordures des cristaux sont de l'oligoclase (An_{16-26}) tandis que le cœur a une composition d'andésine-labrador (An_{46-71}) (Tabl. I).

L'amphibole est la seconde phase bien développée (30%). Elle se présente sous trois formes :

- cristaux automorphes n'excédant pas 0,5 mm, pléochroïques, munis d'une bordure claire plus ou moins large selon les cristaux ; cette amphibole a une composition d'hornblende tschermakitique ou de tschermakite ; les bordures claires ont une composition de magnésio-hornblende ou de hornblende actinolitique (Fig. 4) ;
- lattes automorphes de 0,2 à 0,6 mm, pléochroïques dans les tons vert clair ;
- de très petits grains à aspect fibreux pléochroïques dans les tons vert clair (Ng) à incolore (Np) sont groupés en amas de 2 mm environ.

L'analyse à la microsonde électronique révèle une composition de hornblende actinolitique à actinolite pour ces deux types d'amphibole (Tabl. I).

Les oxydes ferrotitanés, en inclusions dans les autres phases minérales, sont représentés par une ilménite montrant des teneurs très variables en manganèse ($0 \leq MnO \leq 17,5\%$) (Tabl. I).

Les phases accessoires, peu abondantes (1%), sont représentées par de l'apatite et plus rarement par de l'épidote.

La bordure de l'enclave :

Elle montre la même composition minéralogique avec une texture nettement plus fine et une altération plus poussée.

Tableau I : Compositions chimiques à la microsonde électronique de quelques minéraux du centre de l'enclave doléritique

N° Analyse	Plagioclase				Amphibole			Ilmenite
	104c	126b	138c	203b	213	142	114	100
SiO ₂	51,28	60,54	55,98	64,32	50,21	42,43	51,53	0
Al ₂ O ₃	31,42	24,86	28,11	22,81	5,18	12,99	4,29	0,06
FeO	0,07	0,12	0,14	0	12,67	13,16	12,92	28,74
MnO	0	0,06	0,03	0	0,11	0,17	0,2	17,8
MgO	0	0	0,03	0	15,04	11,31	15,45	0,04
CaO	14,43	5,64	9,46	3,92	11,39	10,69	11,09	0
Na ₂ O	3,24	8,24	6,09	8,85	0,9	1,97	0,73	0
K ₂ O	0	0,67	0,12	0,12	0,4	0,71	0,25	0
TiO ₂	0,01	0,04	0	0	1,29	3	0,61	51,5
Cr ₂ O ₃	0	0	0,13	0	0	0,04	0	0
Total	100,45	100,17	100,09	100,02	97,19	96,47	97,07	98,14
An	71,1	26,4	45,9	19,5				
Ab	28,9	69,8	53,4	79,8				
Or	0	3,8	0,7	0,7				
Si					7,215	6,263	7,405	
(Na+K)A					0,078	0,388	0,045	
Mg*					0,773	0,682	0,768	

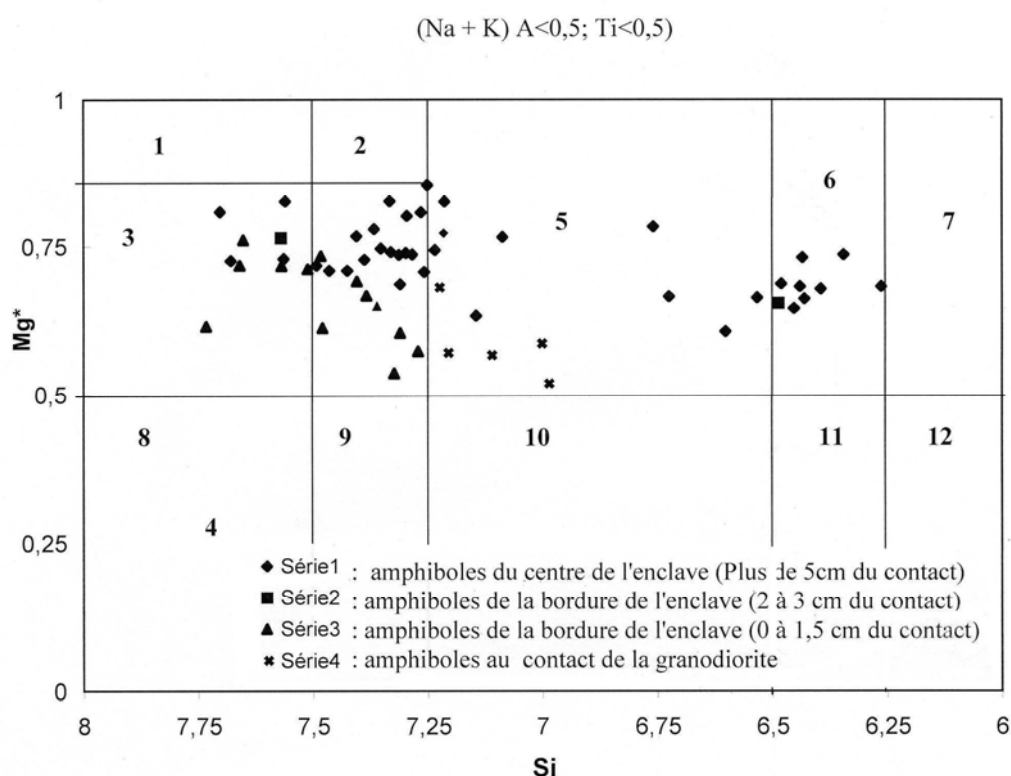


Figure 4 : Position des amphiboles dans le diagramme Mg* - Si de LEAKE (1978) : $Mg^* = Mg / (Mg + Fe^2)$.
 1, trémolite ; 2, hornblende trémolitique ; 3, actinote ; 4, hornblende actinolitique ; 5, magnésio-hornblende ; 6, hornblende tschermakitique ; 7, tschermakite ; 8, ferroactinolite ; 9, hornblende ferroactinolitique ; 10, ferrohornblende ; 11, hornblende ferro-tschermakitique ; 12, ferro-tschermakite.

Le plagioclase est toujours sous deux habitus :

- les phénocristaux, identiques à ceux du cœur de l'enclave ;
- les lattes, de 0,4 mm de long, à cœur séricitisé et bordure limpide ; localement, apparaissent des cristaux de plagioclase aux contours lobés, à aspect limpide et toujours frais.

La bordure des microlites est une oligoclase à une andésine (An_{28-34}). La composition du cœur varie d'une andésine à un labrador (An_{54-69}). Les cristaux lobés correspondent à de l'oligoclase (An_{28-31}) (Tabl. II).

Pour l'amphibole, jusqu'à une distance de 15 mm environ de l'interface acide-basique, on observe les deux types d'amphibole décrits au centre de l'enclave. Plus près de la bordure, l'amphibole apparaît en très petites lattes, de 0,1 mm en moyenne, xénomorphes et mal individualisées.

Il y a persistance des amas fibreux et incolores décrits au cœur de l'enclave. A quelques millimètres du contact, l'amphibole apparaît en granules isolés ou

groupés en chapelet, en cristaux aciculaires et en grains lobés. Ils sont étroitement associés aux microlites de plagioclase.

Au contact de la granodiorite, certains cristaux d'amphibole semblent avoir une tendance à l'automorphie et leur couleur vire au vert sombre. Des lattes comparables cristallisent dans le premier millimètre de la granodiorite avoisinant l'enclave doléritique.

Les amphiboles de la bordure d'enclave ont une composition d'hornblende actinolitique et d'actinolite (Tabl. II). Les lattes automorphes de l'interface ont une composition de magnésio-hornblende.

La biotite cristallise en rares cristaux intimement liés à l'amphibole et englobant souvent des oxydes ferro-titanés.

Les oxydes ferro-titanés cristallisent dans les autres phases minérales. Plus abondants en bordure qu'au centre de l'enclave, cette abondance diminue brutalement à 1 mm environ de l'interface. Chimiquement, ce sont des ilménites avec des

Tableau II : Composition chimique à la microsonde électronique de quelques minéraux de la bordure de l'enclave doléritique

N° Analyse	Plagioclase				Amphibole		Ilménite
	3	5b	29c	80	63	58	72
SiO ₂	60,46	60,9	50,83	44,11	51,08	48,53	0
Al ₂ O ₃	24,49	24,21	31,56	10,38	4,78	5,82	0,25
FeO	0,65	0,25	0,18	15,02	12,74	18,92	43,21
MnO	0,03	0	0	0,27	0,25	0,57	3,65
MgO	0,35	0,02	0,01	11,38	14,32	10,42	0,11
CaO	6,17	6,23	14,41	10,86	12,56	10,8	0
Na ₂ O	8,66	8,83	3,54	1,75	0,62	1,18	0
K ₂ O	0,1	0,15	0,04	0,76	0,33	0,51	0
TiO ₂	0,13	0	0,02	2,79	1,32	0,32	51,79
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0,12	0	0,06	0
Total	101,04	100,59	100,59	97,43	98	97,13	99,01
An	28,1	27,8	69,1				
Ab	71,4	71,4	30,7				
Or	0,5	0,8	0,2				
Si				6,487	7,363	7,205	
(Na+K)A				0,353	0,18	0,154	
Mg*				0,654	0,667	0,571	

teneurs variables en manganèse ($2 \leq \text{MnO} \leq 16,75\%$).

ETUDE GEOCHIMIQUE

Les analyses chimiques de quatre échantillons, du cœur de l'enclave, révèlent des compositions voisines. Les teneurs élevées en aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3=18,5\%$) résultent de l'abondance du plagioclase dans ces roches. Une certaine abondance du magnésium, du chrome et du nickel, et une relative pauvreté en néobium, zirconium et phosphore indiquent le caractère peu évolué de ces enclaves. La séricitisation importante du plagioclase peut expliquer les teneurs élevées en K_2O .

La composition chimique de la bordure de l'enclave est très légèrement variable par rapport à celle du centre (Tabl. III). Quelques légères variations du centre vers la bordure seront discutées dans la section suivante.

VARIATIONS DANS L'ENCLAVE

L'étude de l'enclave doléritique du secteur de N'Kob conduit à mettre en évidence des différences entre le centre et la bordure, concernant la taille, la couleur, la forme des cristaux, leurs relations mutuelles ainsi que la présence ou l'absence de certaines phases minérales. Ces différences reflètent des conditions de cristallisation et de recristallisation variables, et suggèrent l'existence d'interactions entre enclave basique et granodiorite.

Afin d'éclaircir ces phénomènes, nous étudierons successivement l'évolution dans les enclaves basi-

ques des densités, textures, compositions minéralogiques et des compositions chimiques des minéraux et des roches.

DENSITE

Des mesures de densité ont été effectuées par pesée hydrostatique, elles ont révélé une diminution faible mais très régulière (de 2,89 à 2,86) de cette grandeur du centre vers la bordure de l'enclave.

TEXTURE

Les nombreuses études concernant la cristallisation des magmas (LOFGREN, 1974 ; 1980 et 1983 ; KIRKPATRICK, 1975, 1976, 1978 et 1983 ; SCHIFFMAN & LOFGREN, 1982 ; BRANDEIS & *al.*, 1984 ; BRANDEIS & JAUPART, 1987) soulignent l'importance de la composition chimique du magma et du régime thermique sur la morphologie, la taille et la composition chimique des phases minérales. La texture d'une roche reflète donc les conditions physiques et chimiques qui règnent au moment de sa cristallisation.

L'enclave étudiée est constituée d'une roche porphyrique formée de phénocristaux de plagioclase baignant dans une mésostase à texture à grain fin. Entre le centre et la bordure de l'enclave aucune modification de la taille et de l'abondance des phénocristaux de plagioclase n'est discernable ; en revanche, leur altération est plus poussée au contact de la granodiorite.

La variation de la taille des cristaux dans la mésostase est illustrée par la variation de la longueur

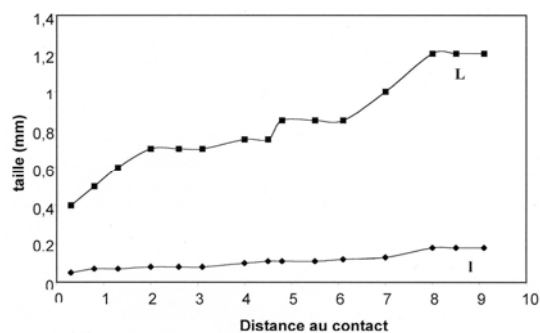


Figure 5 : Evolution de la longueur (L) et de la largeur (l) maximales des cristaux de plagioclase à travers l'enclave basique.

et de la largeur des lattes de plagioclase : Les cristaux du centre sont plus grands mais également plus trapus que ceux de la bordure. Cette variation peut être observée sur une largeur de 10 cm (Fig. 5).

Parallèlement, une variation de l'aspect de l'amphibole et des modes d'association entre amphibole et plagioclase est constatée. L'amphibole est en petits cristaux (0,5 mm) bruns et trapus, dans toute l'enclave sauf dans une zone large de 15 mm au contact de la granodiorite. A ce niveau, cette phase apparaît en minuscules grains ou en cristaux aciculaires, étroitement associés aux cristaux de plagioclase.

Tableau III Compositions chimiques (éléments majeurs et en traces), normes CIPW, et densités de la brèche magmatique étudiée. Pour le calcul des normes. Le partage du fer a été fait selon la méthode d'IRVINE & BARAGAR (1971), $Fe_2O_3 = 1,5 + TiO_2$ pour les roches basiques, pour les roches acides $Fe_2O_3 = 0$.

N° Ech	Enclave doléritique					Granodiorite	
	Centre				Bordure		
	Nka	Nkb	Nkc	Nkd	Nke	Nkf	Nkg
SiO ₂	50,18	49,67	49,41	50,09	50,53	71,28	72,81
Al ₂ O ₃	18,28	18,56	18,74	18,49	18,48	14,65	13,89
Fe ₂ O ₃	7,98	7,94	7,92	7,8	7,59	2,12	2,33
TiO ₂	1,01	1	1	0,99	0,98	0,31	0,3
CaO	8,29	7,78	7,67	7,48	7,43	2,58	2,09
MgO	6,96	6,93	7	6,98	6,89	0,81	0,65
MnO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,19	0,03	0,03
K ₂ O	2,02	2,08	2,22	2,19	2,3	2,35	2,41
Na ₂ O	2,86	3,06	3,03	3,07	2,97	4,07	3,88
P ₂ O ₅	0,13	n.d.	0,12	n.d.	0,12	0,03	0,04
P.F.	2	2,14	2,27	2,12	2,15	1,05	0,81
Total	99,78	99,36	99,46	99,41	99,51	99,25	99,2
Nb	6		6		6	11	13
Zr	96		97		100	262	250
Y	22		22		24	29	33
Sr	272		271		279	215	173
Rb	99		105		114	63	74
Ni	81		85		77	21	20
Cr	221		221		217	14	10
V	161		154		151	13	15
Zn	323		298		281	157	166
Cu	27		22		27	10	<10
Ba	778		853		860	897	859
Q						32,96	35,32
Ab	25,38	26,59	26,14	26,91	26,6	35,82	33,93
An	32,59	31,59	31,59	31,3	32,08	13,11	10,45
Or	12,52	12,62	13,37	13,4	14,38	14,44	14,71
Di	8,4	7	5,58	6,23	5,33		
Hy	6,44	3,51	2,94	4,61	7,09	1,34	2,43
Ol	8,53	13,01	14,46	11,84	8,45		
Il	2,02	1,96	1,94	1,95	1,98	0,61	0,59
Mt	3,83	3,73	3,71	3,75	3,82		
Ap	0,3	2,88	0,27		0,28	0,07	0,09
C						1,65	2,47
Densité	2,888	2,88	2,873	2,866	2,862	2,649	2,653

MINERALOGIE

Les phases minérales décrites au centre de l'enclave basique existent également en bordure sauf la biotite qui n'apparaît que dans cette dernière.

Les variations texturales observées à travers l'enclave sont accompagnées d'une variation dans les compositions chimiques des phases minérales.

Le plagioclase : les lattes du centre et de la bordure ont la même composition chimique (andésine à bytownite au cœur, oligoclase en bordure), des cristaux lobés frais en bordure sont de l'oligoclase.

L'amphibole : du centre de l'enclave étudiée jusqu'à une distance de 15 mm du contact avec la granodiorite, l'amphibole a une composition chimique diversifiée (hornblende tschermakitique, magnésio-hornblende, hornblende actinolitique et actinolite). L'appauvrissement en Al^{IV} s'accompagne d'une diminution régulière des teneurs en Ti, en Na et en K (Fig. 6). A une distance inférieure à 15 mm du contact, l'amphibole est une hornblende actinolitique ou actinolite. Comparés aux cristaux du centre de l'enclave ayant des teneurs comparables en Al^{IV} , les grains de la bordure sont plus riches en K et présentent des valeurs plus faibles en Mg^* ($Mg^* = Mg/Mg + Fe^{2+}$).

Les cristaux automorphes apparaissant au contact de la granodiorite, ont une composition de magnésio-hornblende riche en SiO_2 , se distinguant des magnésio-hornblendes du centre de l'enclave par des teneurs, plus élevées en K et Na et plus faibles en Ti, et par de plus faibles valeurs en Mg^* (Fig. 6).

GEOCHIMIE DE L'ENCLAVE

Les analyses effectuées ne révèlent que de très faibles variations de composition chimique dans l'enclave étudiée. Certaines évolutions régulières peuvent cependant être notées ; elles concernent d'une part des éléments alcalins et alcalino-terreux (K_2O , CaO , Rb, Ba), d'autre part, des éléments de transition auxquels on peut associer le zinc (Fe_2O_3 , V, Zn).

Les teneurs en CaO diminuent du centre vers la bordure de l'enclave, cette variation s'accompagne d'un enrichissement en K_2O , Rb et Ba. Un appauvrissement sensible de la bordure en Fe_2O_3 , V et Zn est à souligner.

INTERPRETATION

Le contour lobé plus ou moins sinueux de l'enclave basaltique ainsi que la présence de bordure

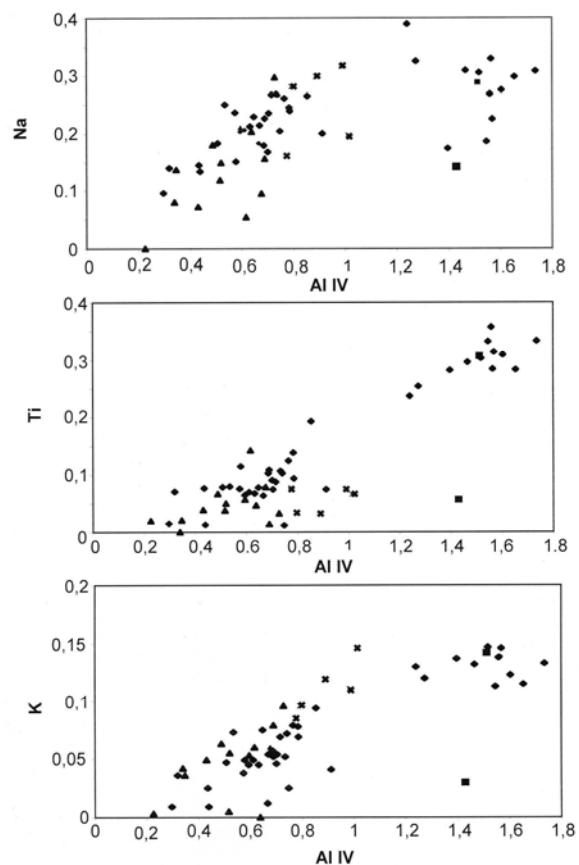


Figure 6 : Position des amphiboles dans les diagrammes Na-AlIV, K-AlIV et Ti-AlIV.

à grain fin indiquent une mise en contact de deux magmas de compositions et conditions thermodynamiques (température, viscosité, taux de cristallisation) contrastées (BLAKE & *al.*, 1965). Dans le cas de notre exemple, le magma basaltique relativement plus fluide et plus chaud qui s'injecte dans le magma granodioritique plus froid et plus visqueux a tendance à se fragmenter (KOYAGUSHI, 1986) ; au cours de cette fragmentation, des échanges thermiques, mécaniques et chimiques ont eu lieu entre les deux magmas en contact.

ECHANGES THERMIQUES

La température du magma basique était plus élevée que celle du magma granodioritique. L'existence d'un déséquilibre thermique important est traduite par la variation des textures en bordure

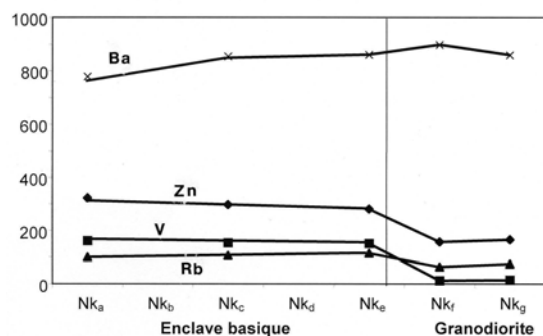


Figure 7 : Variation de la composition chimique (quelques éléments majeurs et traces) de l'enclave basique et de la granodiorite.

de l'enclave mais d'autres faits, comme la forme de l'interface, témoignent aussi de cet échange (BEBIEN & al., 1987).

Il y a également d'autres indices pétrographiques qui indiquent l'échange thermique :

- la forme aciculaire des apatites ;
- la forme dendritique, squeletique des ilménites ;
- la diminution de la taille des cristaux en bordure.

Par la suite, l'établissement d'un état stationnaire entre la chaleur produite par la cristallisation et la chaleur échangée avec l'encaissant granodioritique se traduit par un degré de surfusion peu important, rendant ainsi compte de la constance de la taille des cristaux dans toute la partie centrale de l'enclave.

ECHANGES CHIMIQUES

Les échanges chimiques entre termes acides et basiques ne concernent que quelques éléments dosés (K_2O , CaO , Rb, Ba, Fe_2O_3 , V et Zn) (Fig. 7).

Dans les études expérimentales de la diffusion des éléments chimiques entre magmas de compositions contrastées (HOFMANN, 1980 ; ALIBERT & CARRON, 1980 ; JAMBON, 1983 ; WATSON & JEREWIKCZ, 1984 ; JOHNSTON & WYLLIE, 1988 ; VAN DER LAAN & WYLLIE, 1993) un refroidissement rapide permet de conserver des profils de concentration établis dans les liquides. En revanche, dans le domaine plutonique, une diminution beaucoup plus lente des températures entraîne l'existence d'échanges entre magmas, entre magmas et solides, et entre solides. Il est donc indispensable de prendre en compte de façon simultanée les données pétrographiques (et en particulier minéralogiques) et chimiques pour pouvoir interpréter les répartitions des différents éléments.

L'étude pétrographique de l'enclave basique conduit à souligner l'importance des recrystal-

lisations post-magmatiques, se traduisant par la séricitisation des plagioclases et le développement des actinolites et des hornblendes actinolitiques et des biotites. Ce phénomène affecte particulièrement la bordure de l'enclave dans laquelle la hornblende tschermakitique a totalement disparu.

Ces phénomènes ont sans doute été accompagnés de migration des alcalins et alcalino-terreux, entraînant un enrichissement de la bordure en K_2O , Rb et Ba, et un appauvrissement en CaO .

En revanche les magnésio-hornblendes subautomorphes, pauvres en Ti et relativement riches en K, des contacts entre roches basiques et acides témoignent peut-être d'échanges limités entre magmas. De tels échanges pourraient rendre compte des variations des teneurs en Fe_2O_3 , V et Zn.

CONCLUSION

L'étude pétrographique et minéralogique de l'enclave basique du secteur de N'Kob du massif de Siroua a permis de constater des variations qui résultent sans aucun doute d'une superposition de plusieurs phénomènes intervenant à des degrés divers.

- Parmi ces phénomènes, nous avons reconnu :
- la diffusion thermique entre magmas, attestée par la variation de texture et la forme de l'interface ;
- la diffusion chimique entre magmas acides et basiques (K_2O , CaO , Rb et Ba) ;
- la migration d'éléments chimiques conduisant à une recrystallisation des roches consolidées ;
- les échanges mécaniques attestés par les phénocristaux de plagioclase qui seraient d'origine granodioritique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALIBERT, C. & CARRON, J.P. (1980). Données expérimentales sur la diffusion des éléments majeurs entre verres ou liquides de composition basaltique rhyolitique et phonolitique, entre 900 et 1300°C, à pression ordinaire. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 47, pp. 294-306.
- ANDERSON, A.T. (1976). Magma mixing: petrological process and volcanological tool. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 1, pp. 3-33.
- ANDRE, F. (1983). *Pétrologie structurale et pétrogenèse des formations plutoniques septentrionale du massif des Ballons (Vosges, France)*. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Nancy I, 247 p.
- ARAÑA, V. ; MARTI, J. ; APARICIO, A. ; GARCIA-CACHO, L. & GARCIA-GARCIA, R. (1994). Magma

- mixing in alkaline magmas: an example from Tenerife, Canary islands. *Lithos*, 32, pp. 1-19.
- BEBIEN, J. ; GAGNY, Cl. & SOUSSI TANANI, S. (1987). Les associations de magmas acides et basiques : des objets fractals? *C.R. Acad. Sci. Paris*, 305, sér. II, pp. 280-286.
- BELIN, J.M.(1988). Evolution des enclaves basiques et de leur matrice dans un granite, l'exemple du granite porphyroïde de Saint-Gervais d'Auvergne (Massif central français). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 307, sér. II, pp.387-393.
- BLAKE, D.H. ; ELWELL, R.W.D. ; GIBSON, I.L. ; SKAELHORN, R.R. & WALKER, G.P.L. (1965). Some relationships resulting from the intimate association of acid and basic magmas. *Q. J. Geol. Soc. London*, 121, pp. 31-49.
- BRANDEIS, G. & JAUPART, C. (1987). The kinetics of nucleation and crystal growth and scaling laws for magmatic crystallization. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 96, pp. 24-34.
- BRANDEIS, G. ; JAUPART, C. & ALLEGRE, J.C. (1984). Nucleation crystal growth and the thermal regime of cooling magmas. *J. Geophys. Res.*, 89, pp. 10161-10177.
- CHUBERT, G. (1963). Histoire géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. Tome I, *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 162, 345 p.
- CORCITA, C ; ORSINI, J.B. & COULON, C. (1989). Exemple de mélanges de magmas en contexte plutonique : les enclaves de tonalite-granitoïde du massif de Bono (Sardaigne septentrionale). *Can. J. Earth Sci.*, 26, pp. 1264-1281.
- DIDIER, J. (1973). *Granites and their enclaves*. Elsevier, Amsterdam, 393 p.
- DIDIER, J. & BARBARIN, B. (1991). *Enclaves and granite petrology*. Elsevier, Amsterdam. 600 p.
- DIDIER, J. ; DUTHOU, J.L. & LAMEYRE, J. (1982). Mantle and crustal granites : genetic classification of orogenic granite and the nature of their enclaves. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 14, pp. 125-132.
- EL BOUKHARI, A. ; CHABANE, A. ; ROCCI, G. ET TANE J.L. (1985). *Bull. Fac. Sci. Marrakech*, sect. Sci. Terre, 3.
- GOURGAUD, A. (1985). Mélange de magmas dans les séries alcalines et calco-alcalines : leur rôle dans la genèse des laves intermédiaires et leur influence sur les mécanismes éruptifs. Exemple pris dans le massif central français (Mont-Dore, chaîne des puys), La Martinique (Montagne Pelée, Fissure Burges, Diamant) et au Mexique (Pico de Orizaba). *Ann. Sci. Univ. Clermont-Ferrand II*, 86, 522 p.
- HOFMANN, A.W. (1980). Diffusion in natural silicate melts : a critical review. In : HARGRAVES (éd.) : *Physics of magmatic processes*, Princeton University Press, pp. 385-417.
- HUPPERT, H.E. & SPARKS, R.S.J. (1988). The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. *J. Petrol.*, 29, pp. 599-624.
- IRWINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971). A guide of the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canad. J. Earth Sci.*, 8, pp. 523-548.
- JAMBON, A. (1983). Diffusion dans les silicates fondus : un bilan des connaissances actuelles. *Bull. Mineral.*, pp. 229-246.
- JOHNSTON, W.D. & WYLLIE, P.J. (1988). Interaction of granitic and basic magmas : experimental observations on contamination processes at 10 kbars with H₂O. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 98, pp. 352-362.
- KIRKPATRICK, R.J. (1975). Crystal growth from the melt : a review. *Am. Mineral.*, 60, pp. 798-814.
- KIRKPATRICK, R.J. (1976). Towards a kinetic model for the crystallization of magma bodies. *J. Geochim. Res.*, 81, pp. 2565-2571.
- KIRKPATRICK, R.J. (1978). Processes of crystallization in pillow basalts, hole 396B ; DSDP LEG 46. *Init. Repts DSDP*, XLVI, Washington.
- KIRKPATRICK, R.J. (1983). Theory of nucleation in silicate melts. *Am. Mineral.*, 68, pp. 66-77.
- KOYAGUSHI, T. (1986). Textural and compositional evidence for magma mixing and its mechanism, Ab4 volcanogroup, southwestern Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 93, pp. 33-45.
- LAHMAM, M. ; EL KHANCHAOUI, T. ; BERAAOUZ, E. & EL BOUKHARI A. (1999). Processus de mélanges magmatiques dans les granitoïdes précambriens de Siroua (Anti-Atlas Central, Maroc).
- LEAKE, B.E. (1978). Nomenclature of amphiboles. *Am. Mineral.*, 63, pp. 1023-1052.
- LOFGREN, G.E. (1974). An experimental study of plagioclase crystal morphology isothermal crystallization. *Am. J. Sci.*, 274, pp. 243-273.
- LOFGREN, G.E. (1980). Experimental studies on the dynamic crystallization of silicate melts. In : HARGRAVES, R.B. (éd.) : *Physics of magmatic processes*, pp. 487-551.
- LOFGREN, G.E. (1983). Effect of heterogeneous nucleation on basaltic textures : a dynamic crystallization study. *J. Petrol.*, 24, pp. 229-255.
- NEVES, S.P. & VAUCHEZ, A. (1995). Successive mixing and mingling of magmas in a plutonic complex of Northeast Brazil. *Lithos*, 34, pp. 275-299.
- POLI, G.E. & TOMMASINI, S. (1999). Geochemical modelling of acid-basic magma interaction in the Sardinia – Corsica batholith : the case study of Sarvrabus, southeastern Sardinia, Italy. *Lithos*, 46, pp. 553-571.

- PRESTON, R.J. ; DEMPSTER, T.J. ; BELL, B.R. & ROGERS, G. (1999). The petrology of mullite-bearing peraluminous xenoliths : Implication for contamination processes in basaltic magmas. *J. Petrol.*, 40, pp. 549-573
- SCHIFFMAN, P. & LOFGREN, G.E. (1982). Dynamic crystallization studies on the Grande Ronde pillow basalts, Central Washington. *J. Geol.*, 90, pp. 49-78.
- SPARKS, S.R.J. & SIGURDSSON, H. (1977). Magma mixing : a mechanism for triggering acid explosive eruption. *Nature*, 276, pp. 315-318.
- VAN DER LAAN, S. & WYLLIE, P.J. (1993). Experimental interaction of granitic and basaltic magmas and implication of mafic enclaves. *J. Petrol.*, 34, pp. 491-517.
- WATSON, E.B. & JUREWICZ, S.R. (1984). Behavior of alkalis during diffusive interaction of granitic xenoliths with basaltic magma. *J. Geol.*, 92, pp. 121-131.
- WIEBE, R.A. (1973). Relations between coexisting basaltic and granitic magmas in a composite dike. *Am. J. Sci.*, 273, pp. 130-151.
- WIEBE, R.A. (1993). The Pleasant Bay layered gabbro-diorite, Coastal Maine : ponding and crystallization of basaltic injection into silicic magma chamber. *J. Petrol.*, 34, pp. 461-489.
- ZORPI, M.J. ; COULON, C. ; ORSINI, J.B. & CORCITA, C. (1989). Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. *Tectonophysics*, 157, pp. 315-329.
- ZORPI, M.J. ; COULON, C. & ORSINI, J.B. (1991). Hybridization between felsic and mafic in calc-alkaline granitoids-a case study in northern Sardinia, Italy, *Chem. Geol.*, 99, pp. 45-86.

Manuscrit déposé le 13 septembre 1999

Version modifiée reçue le 22 septembre 2000

Acceptée le 16 octobre 2000

Adresse des auteurs

S. SOUSSI TANANI et A. CHABANE

Université Ibn Tofaïl
Faculté des Sciences.
Département de géologie
B.P. 133, Kénitra
Maroc