

Evolution géochimique et contexte de mise en place du complexe granitique du Ment (Massif central marocain)

Abdellah BOUSHABA

عبد الله بوشحابة

Mots clés : Maroc, Meseta, orogénèse hercynienne, leucogranite, cisaillement ductile.

ملخص

تاريخ وضع المركب الغرانيتي للمانت (المغرب الأوسط) وتطوره الجيوكيميائي (سلوك العناصر المهمة والنادرة). يتكون المركب الغرانيتي للمانت (المغرب الأوسط) أساسا من مجموعتين :

1. الأولى كلسية قلووية من أصل تحقشري ميتالومينيومي (نوع M أو I) غالبا ما نجدها ملوثة بالقشرة القارية. ويبدأ التبلور في هذه المجموعة على عمق 10 - 14 كلم أي ما يعادل ضغطا يفوق 4 كيلوبار وحرارة 500 درجة. أما وضعها النهائي فهو على عمق 6 - 8 كلم أي ما يفوق 1 كيلوبار و 750 - 825 درجة حرارية.

2. الثانية ليكوغرانيتية من أصل قاري فرطالومينيومي (نوع S أو C) تتميز بوضعها السطحي على عمق 2 - 4 كلم، أي ما يعادل 0,5 - 1 كيلوبار وحرارة تفوق 750 درجة.

أما من الناحية البنيوية، فترتبط المجموعة الأولى بمناطق انقلاعية عميقة مطاوعة ؛ بينما ترتبط المجموعة الثانية بأحزمة القص البعدهرسينية المنسوبة إلى البرمي.

RESUME

Le complexe granitique du Ment (Massif central marocain) est composé principalement par :

- une association calco-alkaline d'origine mantellique métalumineuse (M ou I-type) plus ou moins contaminée par la croûte continentale, caractérisée par un début de cristallisation à 10-14 km de profondeur, ($P = 4 \text{ kb}$, $T > 500^\circ\text{C}$) et une installation définitive à 8-6 km de profondeur ($P > 1 \text{ kb}$, $750 < T < 825^\circ\text{C}$);

- une association leucogranitique d'origine crustale alumineuse (C ou S-type) plus tardive, caractérisée par une mise en place superficielle ($0,5 < P < 1 \text{ kb}$, $T < 750^\circ\text{C}$) à 2-4 km de profondeur.

Du point de vue structural, la première association est liée à des zones décrochantes profondes ductiles NNE-SSW ; quant à la deuxième association, elle est en relation avec de grands cisaillements tardi-hercyniens d'âge permien.

ABSTRACT

Geochemical evolution and setting history of the Ment granitic complex (Moroccan central massif).

The granitic complex of Ment (Moroccan central massif) consists of:

- a calco-alkaline association, of mantellitic origin, metaluminous (M or I-type) more or less contaminated by the continental crust, and characterized by onset of crystallisation at a depth of 10 to 14 km ($P = 4 \text{ kb}$, $T > 500^\circ\text{C}$), and final at a depth emplacement 8-6 km ($P > 1 \text{ kb}$, $750 < T < 825^\circ\text{C}$).

- a younger leucogranitic association of aluminous crustal origin (C or S-type), characterized by emplacement at a high level intrusion ($0,5 < P < 1 \text{ kb}$, $T < 750^\circ\text{C}$) at a depth of 2-4 km.

From the structural point of view the first association is related to NNE-SSW deep ductile shear zones and the second to megashear zones of late Hercynian and Permian age.

ASPECT REGIONAL

Le massif granitique du Ment se situe dans la partie orientale du plateau central marocain, à une quarantaine de kilomètres au Nord de la ville de Khénifra. Du point de vue géologique, il fait partie du Maroc central, vaste boutonnière paléozoïque structurée par l'orogénèse hercynienne. D'une superficie d'environ 100 km², il est intrusif d'une part dans le flanc oriental du synclinorium

carbonifère de Fourhal-Telt, et d'autre part dans des formations appartenant au Cambro-Ordovicien (TERMIER, 1936; RIBEYROLLES, 1972; cartes géologiques au 1/500.000, 1955 et 1/1.000.000, 1985; BOUABDELLI, 1989).

L'organisation du massif composite du Ment est beaucoup plus complexe que ne le laissent penser les travaux antérieurs (TERMIER, 1936; MORIN, 1951; MAHMOOD, 1980). En effet, il est

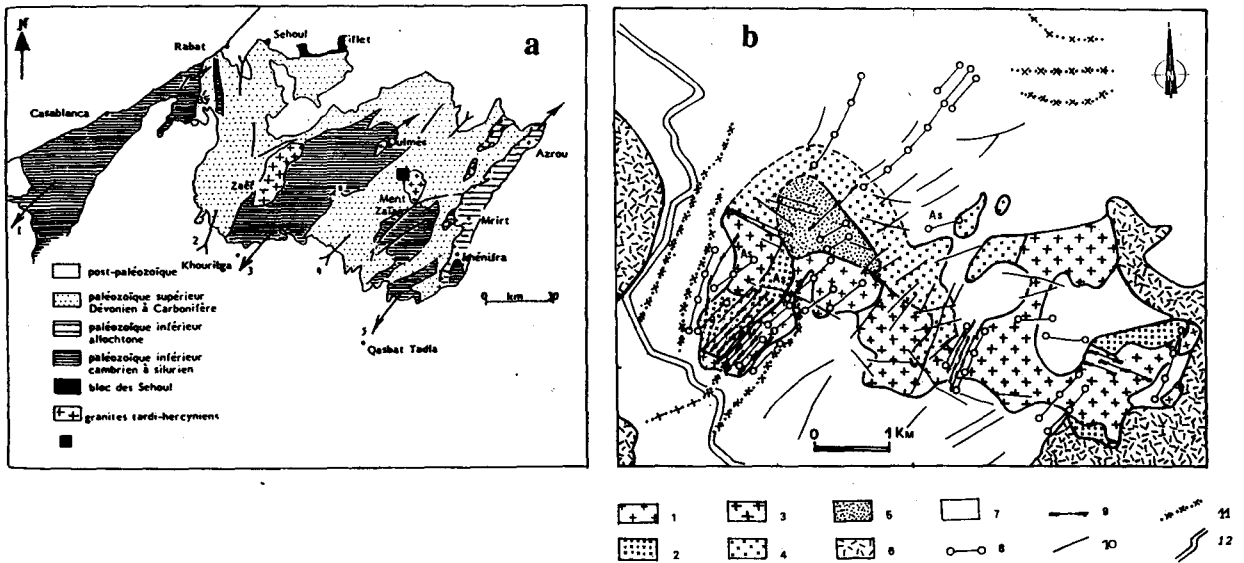


Figure 1: (a) Situation du secteur d'étude; (d'après BOUABDELLI, 1981) 1, anticlinorium de Casablanca; 2, synclinorium occidental; 3, anticlinorium de Khourigga-Oulmès; synclinorium de Fourhal; 5, anticlinorium de Kasbat Tadla-Azrou; 6, situation de la région étudiée. (b) Carte géologique de l'apophyse d'Ez-Zirari (BOUSHABA, 1984, modifiée). 1, granite calco-alcalin porphyrique à biotite ferrifère (faciès principal du Ment); 2, leucogranite fin à deux micas; 3, leucogranite grossier à siderophyllite et à topaze; 4, leucogranite fin à zinnwaldite et à topaze (faciès à stockscheider); 5, greisens; 6, volcanisme quaternaire; 7, encaissant métamorphique d'âge namurien; 8, filonets et filons de quartz; 9, tourmalinites; 10, fractures et failles; 11, filons de greisens (1 à 5 m d'épaisseur); 12, route.

constitué de deux associations granitiques (BOUSHABA, 1984) (fig. 1 et tab. I)

- la première, calco-alcaline, comprend:

(1) le faciès granodioritique porphyrique à plagioclase (An35 - An20), biotite ferrifère, titanomagnétite, zircon, apatite et à enclaves soit d'origine sédimentaire, soit microdioritiques quartziques correspondant à un stade précoce de la différenciation de ce faciès (DIDIER, 1973);

(2) le faciès à tendance monzonitique à plagioclase (An30-An07), sidérophyllite, phengite ferrifère, andalousite parfois rétro-morphosée, et des minéraux hydrothermaux: tourmaline, muscovite et topaze.

- la seconde association, de type leucogranitique, est constituée:

(1) d'une cohorte d'une dizaine de petites intrusions sub-kilométriques de leucogranite fin à deux micas (sidérophyllite et muscovite deutérique) et à albite (An10-An00) (BOUSHABA & al., 1982);

(2) d'une intrusion de leucogranite grossier à sidérophyllite, à topaze et à albite (An05-An00),

(3) d'un leucogranite fin très évolué à zinnwaldite, topaze et albite (An05-An00).

PETROLOGIE DU COMPLEXE GRANITIQUE DU MENT

L'ASSOCIATION CALCO-ALCALINE

Géochimie

Elle est caractérisée par des teneurs élevées en CaO, MgO, Fe₂O₃, TiO₂, Ba, Sr, TR et Y; elle est pauvre en Al₂O₃, SiO₂, Rb (fig. 2 et 5; tab. III et IV). Les échantillons de cette association tombent dans le "Main Trend" (SHAW, 1968) pour le faciès le moins différencié, et évoluent vers le "Pegmatitic-Hydrothermal Trend" pour le faciès le plus différencié (fig. 4).

Le rapport isotopique initial du strontium (ISr) est bas (⁸⁷Sr / ⁸⁶Sr = 0,7054 ± 0,0015). Il indique une origine basicrustale, prépondérante avec une grosse participation de matériel basique (MRINI, 1985).

Du faciès porphyrique vers le non porphyrique, on enregistre un enrichissement en SiO₂, K₂O, Al₂O₃, corindon normatif (fig. 3d et f), Li, F, Rb/Sr, ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr (figs. 5 à 9) et appauvrissement en CaO,

Tableau I : Caractéristiques pétrographiques et minéralogiques des deux principales associations granitiques du Ment.

Caractéristiques Associations	Faciès granitiques (nomenclature d'après STRECKEISEN, 1976).	Composition modale pondérale calculée à partir de l'analyse de la roche totale et de ses minéraux cardinaux en poids d'oxydes.				Micas colorés					Minéraux accessoires et autres caractéristiques.
		Quartz	Fk	Plagioclase	Micas	Type de micas	% FeO _T	% MgO	% F	% TiO ₂	
Calco-alcaline (type N/II)	Granite porphyrique à biotite ferrifère (Granodiorite).	28 à 36	12.3 à 21.5	29 à 40 An ₃₅ -An ₂₀	3.3 à 14.1	Biotite ferrifère	15.7 à 24.81	5.87 à 6.39	0.32 à 0.58	3.35 à 4.49	Chlorite II, apatite, titanomagnetite, zircon. Enclaves d'origine magmatique et sédimentaire.
	Granite non porphyrique à sidérophylite et à andalousite (Monzogranite).	40.3 à 45.4	3.5 à 15.6	37.6 à 41.1 An ₃₀ -An ₀₇	1.3 à 8.8	Sidérophylite Phengite-ferrifère	21.39 à 23.52 5.37 à 7.47	1.92 à 2.01 1.11 à 2.07	1.09 à 1.87 0.17 à 0.89	1.08 à 3.30 0.00 à 0.21	Andalousite, apatite zircon, Muscovite II, tourmaline et topaze (rare).
Leucogranitique (type C/S Y)	Leucogranite fin à deux micas.	36.1 à 42.8	21.0 à 35.3	20.6 à 31.5 An ₁₀ -An ₀₀	2.6 à 17.6	Sidérophylite	25.66 à 26.62	2.49 à 3.05	0.56 à 1.34	2.38 à 2.73	Muscovite II, Chlorite II, apatite zircon.
	Leucogranite grossier à sidérophylite et à topaze.	32.2 à 46.8	16.0 à 22.7	15.7 à 33.4 An ₀₅ -An ₀₀	11.1 à 21.5	Sidérophylite	19.91 à 23.65	0.24 à 0.63	1.34 à 1.44	0.36 à 1.01	Topaze, tourmaline, zircon, apatite, Muscovite II.
	Leucogranite fin à zinnwaldite et à topaze.	30.7 à 46.7	14.7 à 27.7	11.5 à 35.7 An ₀₅ -An ₀₀	12.8 à 27.3	Zinnwaldite	8.56 à 11.58	0.03 à 0.20	2.68 à 4.88	0.00 à 0.58	Topaze, tourmaline, Muscovite II, apatite, zircon, Feldspath en forme de stock scheider intragranite.

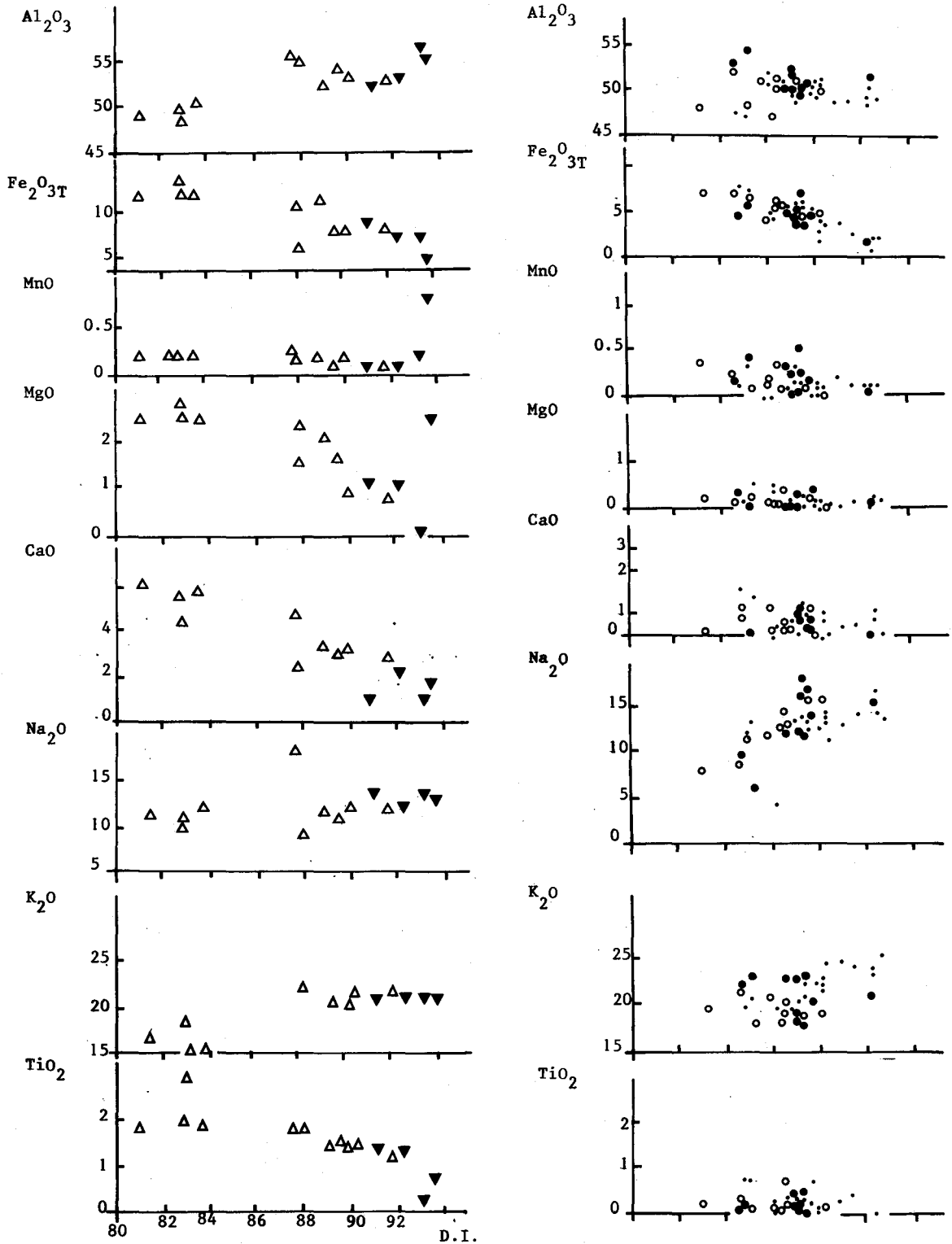


Figure 2: Diagrammes oxydes en fonction de (DI) pour l'association calco-alcaline (a) et leucogranitique (b). Le total des oxydes est égal à 100, la teneur en SiO₂ étant éliminée (BONIN, 1982).

Légende commune aux Figures 2 à 9

A - ASSOCIATION CALCO-ALCALINE:

- △ : Granite porphyrique à biotite ferrique (Granodiorite);
- ▼ : Granite non porphyrique à sidérophylite et à andalousite (Monzogranite).

B - ASSOCIATION LEUCOGRANITIQUE:

- , ● : Leucogranite fin à deux micas; ● : Leucogranite fin à zinnwaldite et à topaze;
- : Leucogranite grossier à sidérophylite et à topaze.

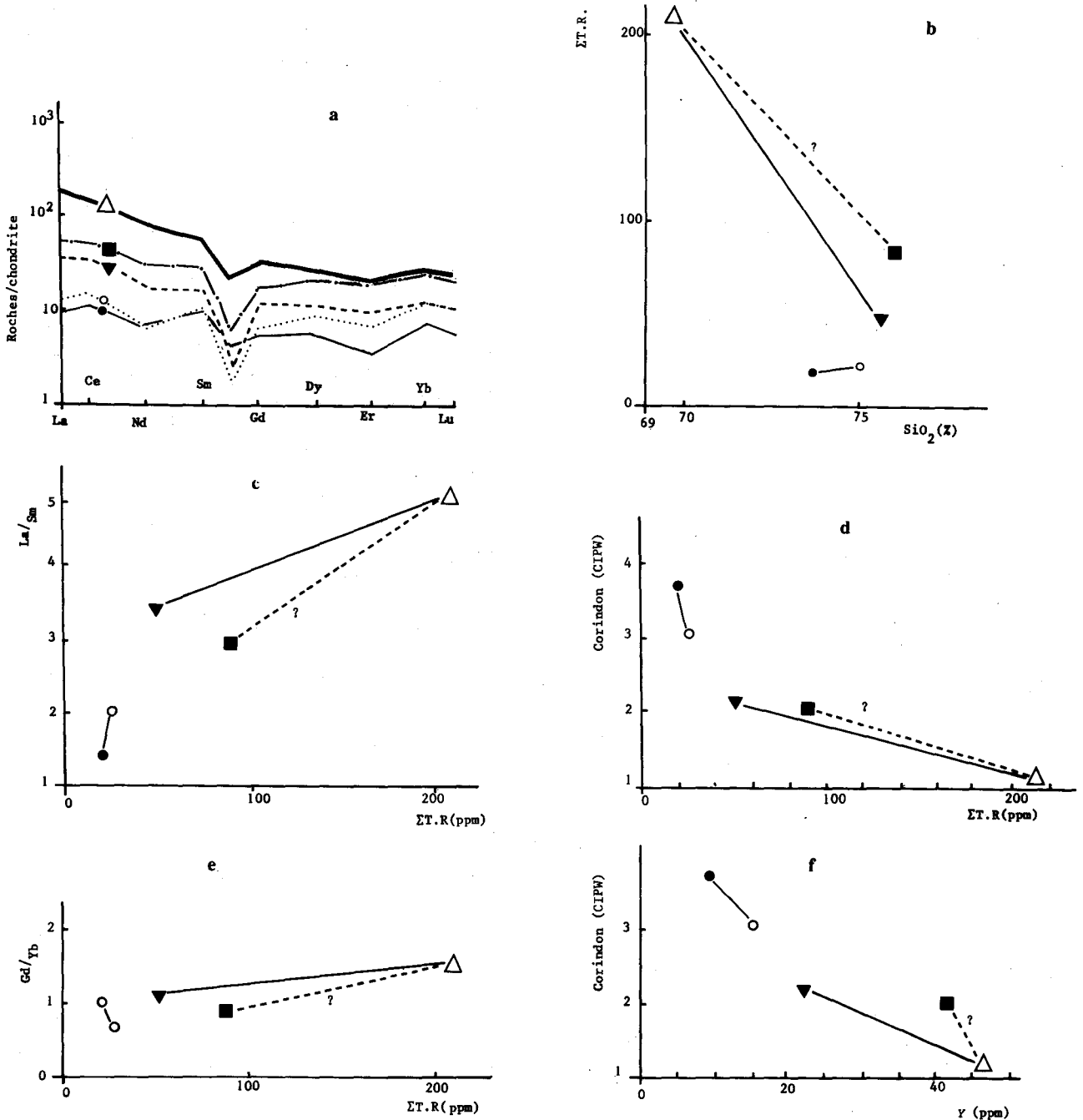


Figure 3: a, courbes de normalisation des TR par rapport aux chondrites C1 pour le complexe granitique du Ment; b, diagramme TR en fonction de SiO₂ en %; c, évolution du rapport La/Sm (indice de fractionnement des TR légères) en fonction des TR en ppm; d, diagramme corindon normalif en fonction des TR en ppm; e, évolution du rapport Gd/Yb (indice de fractionnement des TR lourdes) en fonction des TR en ppm; f, diagramme corindon normalif en fonction de l'Yttrium en ppm.

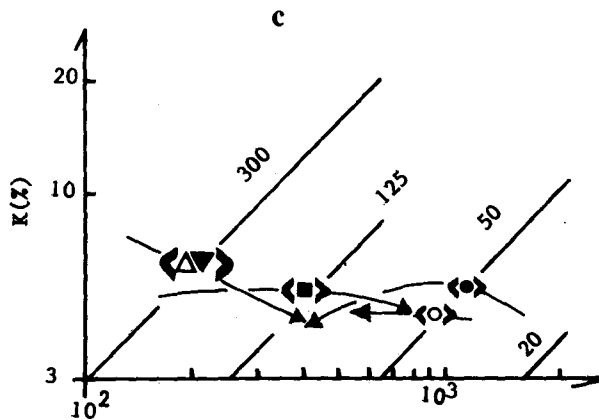
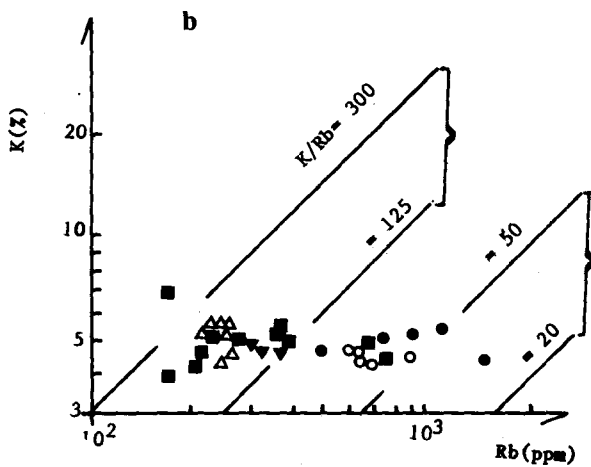
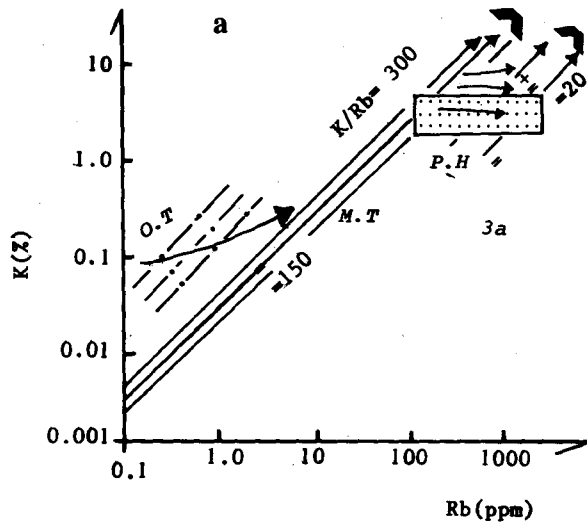


Figure 4: a, Diagramme K_2O en % en fonction du Rb (en ppm) de SHAW (1968). O.T., oceanic tholeiitic basalt; M.T., main trend; P.H., pegmatitic hydrothermal; b, projection des faciès granitiques du Ment dans le diagramme de SHAW; c, évolution de chaque faciès dans le diagramme de SHAW.

MgO , Fe_2O_3 , TiO_2 , Ba, Sr, TR, La/Sm, Gd/Yb, et Y (fig. 3). Nous notons également une constance remarquable de l'allure des deux spectres de fractionnement des TR légères et lourdes avec une anomalie négative en Eu plus marquée pour le granite non porphyrique à sidérophyllite et à andalousite. Ce sont là les critères du processus de différenciation magmatique par cristallisation fractionnée, couplée à des phénomènes hydrothermaux, qui sont responsables de la genèse du granite non porphyrique à sidérophyllite et à andalousite, à partir d'un magma original basi-crustal représenté par le granite porphyrique à biotite ferrifère et ses enclaves basiques d'origine mantellique.

Conditions de mise en place

La cristallisation de l'association calco-alcaline a débuté en profondeur dans la "chambre magmatique" à des pressions de l'ordre de 4 kb et des températures supérieures à $500^\circ C$ (association "andalousite-phengite ferrifère-quartz") (VELDE & KORNPROBST, 1969; BOUSHABA & GAGNY, 1986).

C'est dans cette "chambre" que se seraient produits des mélanges, entre une composante crustale à basicrustale et une composante mantellique des deux principaux magmas de l'association calco-alcaline. La deuxième étape de cristallisation se caractérise par l'ascension et l'installation définitive à vitesse de cristallisation lente du faciès porphyrique et une mise en place pénécotemporaine à vitesse rapide du faciès non porphyrique (éponte mobile entre ce dernier faciès et le faciès porphyrique). D'après les projections

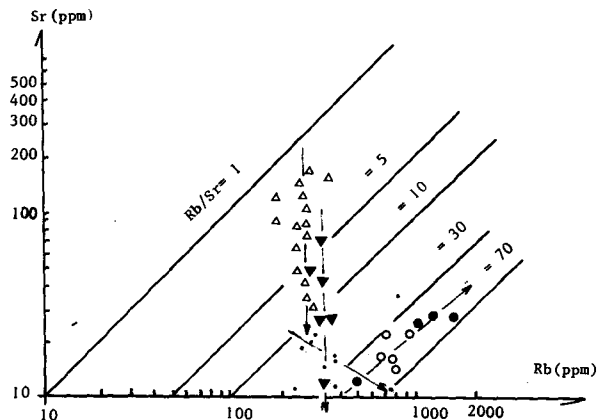


Figure 5: Diagramme log Sr (en ppm) en fonction de log Rb (en ppm).

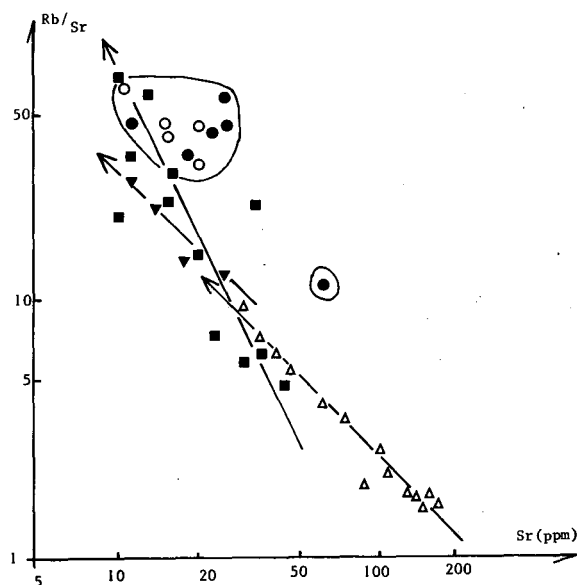


Figure 6: Diagramme log (Rb/Sr) en fonction de log Sr (en ppm) pour les faciès granitiques du Ment.

obtenues dans le diagramme Q-Ab-Or (fig. 8), on peut estimer que cette étape est caractérisée par une mise en place superficielle avec une pression aux alentours de 1 kb et des températures comprises entre 825 et 750°C pour le faciès porphyrique. Pour le granite non porphyrique la température et la pression de mise en place sont plus faibles, du fait que ce dernier faciès est riche en volatils tels F et Li qui abaissent largement le solidus (GLYUK & TRUFANOVA, 1977; CHORLTON & MARTIN, 1978; MANNING, 1980; PICHAVANT, 1981).

La mise en place du faciès granitique calco-alcalin porphyrique du Ment serait légèrement plus tardive que celle des granites comparables dans les Zaer et à Oulmès. Il perce sa couverture comme un poinçon avec une forme quasi-circulaire, des minéraux sans aucune orientation interprétable et un métamorphisme de contact post-tectonique (présence des minéraux équants) lié à son installation définitive. De là, on peut conclure que le granite calco-alcalin porphyrique du Ment est un diapir lié à un contexte de déformation faible de degré métamorphique anchi- à épizonal, dont la mise en place définitive s'est faite essentiellement par contraste de densité et de viscosité avec l'encaissant (VIGNERESSE, 1988) selon des zones décrochantes profondes ductiles NNE-SSW (BOUSHABA, 1989). Le granite non porphyrique à tendance monzonitique du Ment correspond au dernier liquide magmatique différencié, ayant été mis en place de manière pénécotemporaine au granite calco-alcalin porphyrique selon la direction hercynienne NE-SW.

L'ASSOCIATION LEUCOGRANITIQUE

Géochimie: individualisation de deux lignées leucogranitiques

Contrairement à l'association calco-alcaline, l'association leucogranitique (tab. IV, V et VI) est particulièrement riche en SiO_2 , Al_2O_3 (fig. 2), corindon normatif (fig. 3), Rb, F, Li (fig. 9) avec des rapports en Rb/Sr (fig. 6), $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (fig. 7) élevés; et pauvre en CaO, MgO, TiO_2 (fig. 2), Sr (fig. 6), Ba, TR, Y avec des rapports faibles de La/Yb et Gd/Yb (fig. 3). Cependant, le leucogranite fin à deux micas est plus riche en SiO_2 , K_2O , Ba, Sr, TR, Y, La/Yb et La/Sm et plus pauvre en Al_2O_3 , corindon normatif, Rb, F et Li que les leucogranites à topaze. De plus, le leucogranite fin à deux micas tombe dans le "Main Trend" et évolue vers le "Pegmatitic Hydrothermal Trend" (fig. 4), avec un enrichissement en Rb, F et Li; alors que les leucogranites à topaze passent du "Pegmatitic Hydrothermal Trend" vers le "Main Trend".

Pétrologie des deux lignées leucogranitiques

Le leucogranite fin à deux micas proviendrait d'un magma originel riche en Ba, Sr, TR et Y, pauvre en Al_2O_3 , Rb, F, Li (homologue au magma

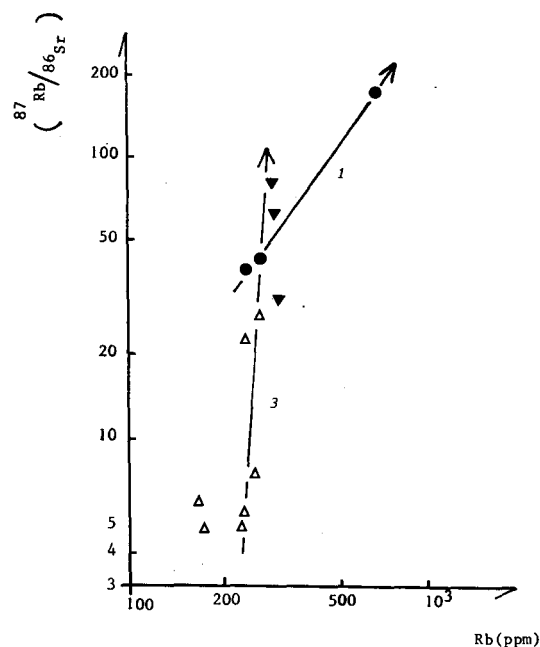


Figure 7: Diagramme des variations du rapport isotopique $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (données de MRINI, 1985), de quelques faciès granitiques du Ment.

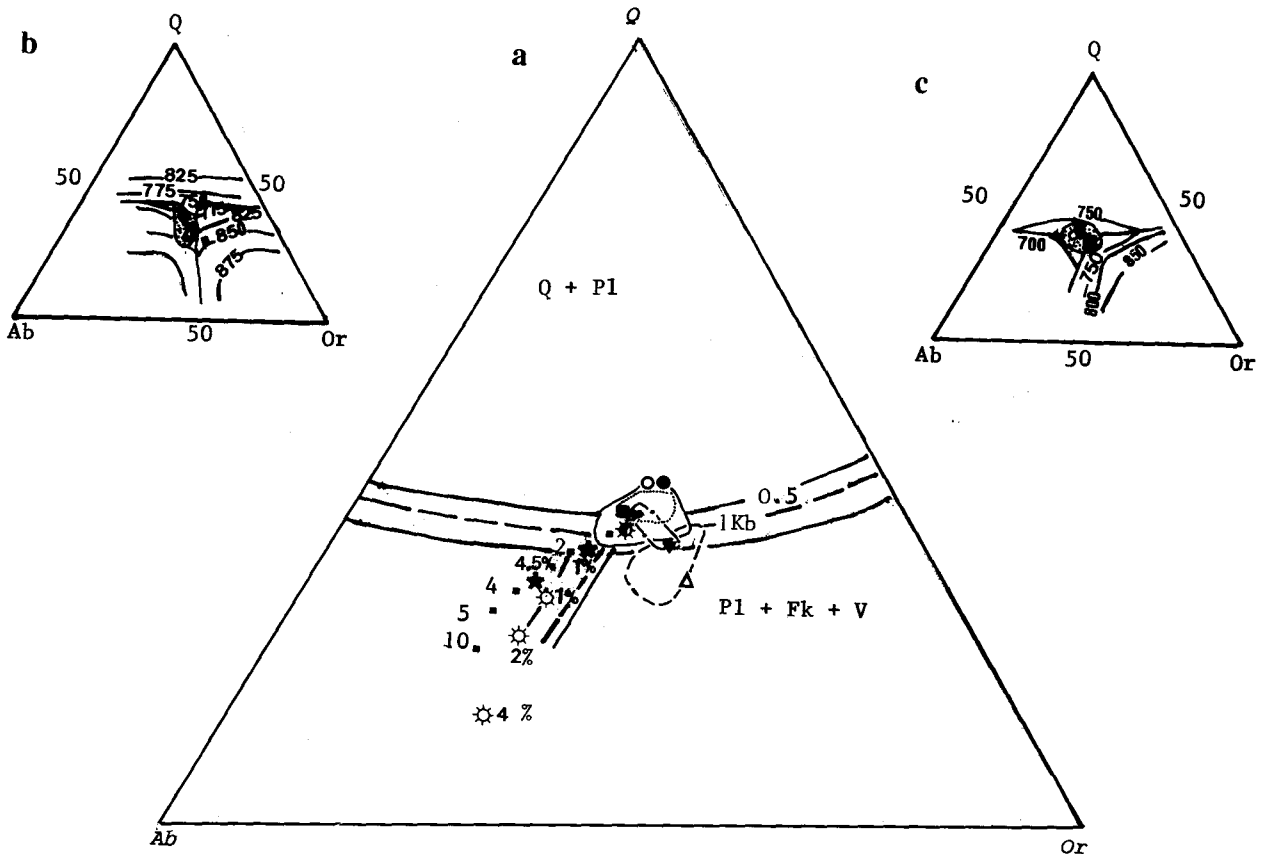


Figure 8: a: Aire de répartition des associations calco-alkaline et leucogranitique dans le système Q-Ab-Or pour des pressions d'eau de 0,5; 1; et 2 kb (TUTTLE & eBOWEN 1958); b: Système Q-Ab-Or avec $Q + Ab + Or = 95\%$ et $An = 5\%$. $PH_2O = 1$ kbar et An_{05} (JAMES & HAMILTON, 1969); c: Système Q-Ab-Or avec $Q + Ab + Or = 97$ et $An = 3\%$. $PH_2O = 1$ kbar et An_{03} (JAMES & HAMILTON, 1968).

original de l'association calco-alkaline); il ne peut en aucun cas avoir des liens génétiques avec le magma qui est à l'origine des leucogranites à topaze riches en Al_2O_3 , Rb, F, Li et pauvre en Sr, TR et Y. Les diagrammes ($\log Rb/Sr$; $\log Sr$) (fig. 6), (TR; SiO_2) (fig. 3b), (La/Sm; TR) (fig. 6e), (corindon normatif; TR) (fig. 3d) et (corindon normatif; Y) (fig. 3f), font suspecter que l'individualisation de magma ayant été à l'origine du leucogranite fin à deux micas est le résultat d'une refusion partielle du granite porphyrique; c'est peut être la raison pour laquelle ce faciès leucogranitique tombe dans le domaine du minimum ternaire du système Q-Ab-Or (fig. 8a).

L'individualisation d'un tel magma à partir de granodiorites à biotites a été évoqué par GAUTHIER (1975), DE LA ROCHE & ISNARD (1978), DE LA ROCHE & al. (1980) et GUILIANI (1984).

Les données géochimiques portant sur les éléments majeurs, traces, terres rares nous permettent d'assurer que le magma original des leucogranites à topaze était initialement riche en Rb,

Li, F et pauvre en TR. Parmi eux, le leucogranite grossier à sidérophyllite plus riche en SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO, TR, La/Sm et Y, semble être moins évolué et plus précoce que le leucogranite fin à zinnwaldite qui est plus riche en Rb, F, Li, Na_2O , K_2O , corindon normatif et Gd/Yb. Il est très probable que l'importance de l'anomalie négative en Eu dans le premier cas, caractérise une différenciation avancée où intervient le plagioclase et le feldspath potassique, contrairement au deuxième cas (liquide magmatique très évolué) où l'intervention du plagioclase dans le processus est limitée.

Conditions de mise en place

L'association leucogranitique est caractérisée par une mise en place superficielle ($0.5 < P < 1$ kb, $T < 750^\circ C$) à 2-4 km de profondeur. Elle est en relation avec d'importants décrochements attribués à la tectonique tardi-hercynienne qui morcellent l'ensemble du Maroc central au Néo-Permien (MICHARD, 1976) et affectant les granites calco-alkalins à Zaer, Oulmès, Ment, Aouam etc.

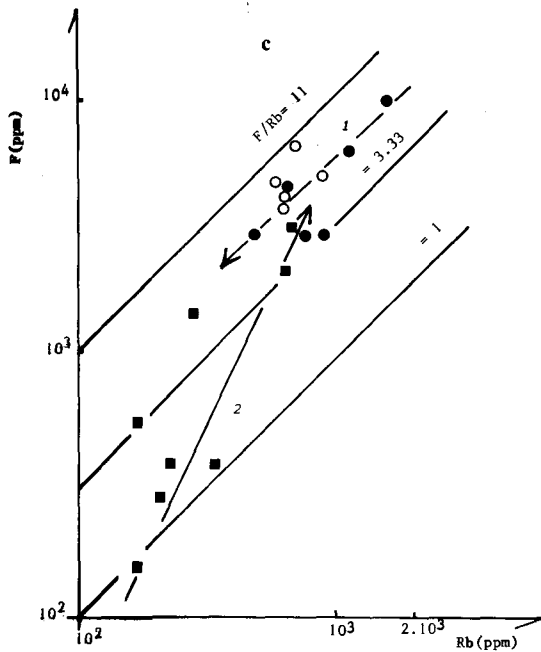
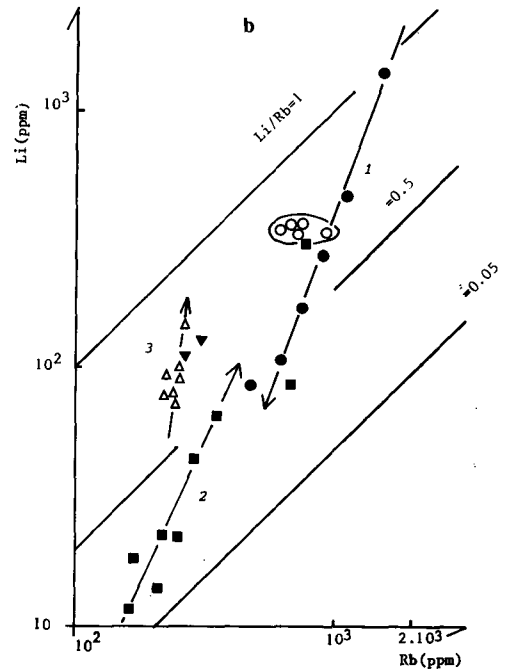
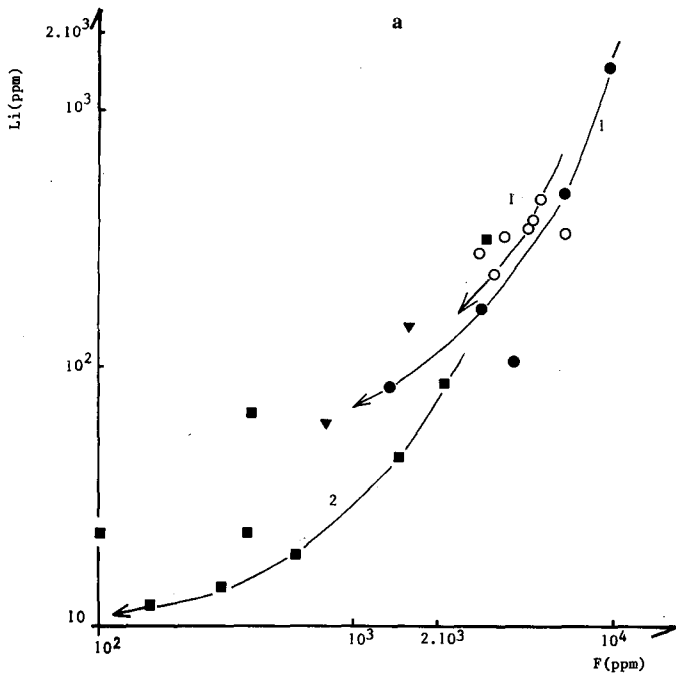


Figure 9a : log/log, Li (ppm) en f (F(ppm)) de l'association leucogranitique et le granite non porphyrique à sidérophylite et à andalousite;
 1) "Trend" évolutif des leucogranites à topaze;
 2) "Trend" évolutif des leucogranites fins à 2 micas;

Figure 9b : Diagramme log (Li) en f (log(Rb)) (en ppm) des faciès granitiques du Ment.
 1) "Trend" évolutif des leucogranites à topaze;
 2) "Trend" évolutif des leucogranites fins à 2 micas;
 3) "trend" évolutif de l'association calco-alcaline.

Figure 9c : Diagramme log F (ppm) en f(log Rb (ou ppm)) de l'association leucogranitique du Ment;
 1) "Trend" évolutif du leucogranite fin à zinnwaldite et à topaze;
 2) "Trend" évolutif du leucogranite fin à 2 micas.

IMPLICATIONS METALLOGENIQUES.

En somme, les leucogranites à topaze ainsi que le granite non porphyrique de l'association calco-alcaline à qui sont associés des dépôts de sulfures (BOUSHABA & GAGNY, 1986), montrent un spectre des TR exceptionnellement plat (La/Yb, bas). De tels spectres sont décrits dans les laves rhyolitiques

évoluées (HILDRETH, 1979; KEITH, 1980; BACON & al., 1981; EWART & al., 1977 et autres...); c'est le type de beaucoup de rhyolites à topaze (CHRISTIANSEN & al., 1981, 1983; MUECKE & CLARKE, 1981) souvent associées aux dépôts de sulfures (CAMPBELL & al., 1981).

L'appauvrissement des TR observé dans les leucogranites à topaze d'une part, et l'association calco-alcaline d'autre part, peuvent être expliqués par le transfert des TR en complexe fluoruré dans les fluides hydrothermaux tardifs (MUECKE & CLARKE, 1981) ; ce processus deviendrait plus important que la cristallisation fractionnée au cours du refroidissement des leucogranites à topaze et peut être même pour le granite non porphyrique. Le fluor pourrait avoir joué un rôle déterminant dans le processus de différenciation magmatique car il a tendance à former des complexes stables avec de nombreux éléments, notamment les TR (SMIRNOV, 1973; MINEYEVEN & *al.*, 1986; BANDURKIN, 1961). TAYLOR & FRYER (1983) montrent que des teneurs importantes de F et W accompagnent l'enrichissement des TR lourdes et ils suggèrent que le processus responsable du fractionnement des terres rares est étroitement lié au transport de W. Ainsi la géochimie des TR des leucogranites à topaze et le granite non porphyrique opte pour la grande capacité à séparer la phase fluide volatile durant la solidification, et par ailleurs le pouvoir de produire des concentrations économiques, notamment en W, mais également en Sn; ceci n'est pas le cas du Ment. L'étude des caractéristiques physico-chimiques des fluides hydrothermaux liés à la mise en place de ces faciès (travail en cours) a pour but d'expliquer cette anomalie.

PLACE DU COMPLEXE GRANITIQUE DU MENT DANS L'EVOLUTION GEODYNAMIQUE DU MAGMATISME HERCYNIEN DU MAROC CENTRAL

L'histoire géodynamique pendant le cycle varisque (tabl. II) commence par la progression de l'orogénèse hercynienne aux alentours du Dévonien moyen depuis la Meseta orientale à l'Est (zone de Midelt) où les roches cristallophylliennes ont été datées de 365 Ma par CLAUER & *al.*, (1980) vers l'Ouest, et gagne la Meseta centro-orientale (région d'Azrou) vers 340 Ma et la région de la Meseta centrale (Fourhal-Telt, Khouribga-Oulmès, Sidi Bettache) vers 310 Ma (début de Westphalien), (LAGARDE, 1985; HUON, 1985; IZART & BEAUCHAMP, 1987). La structuration des bassins viséens en horsts et grabens contrôlés par un rejeu de faisceaux de failles préexistantes orientées NE-SW. Elle pourrait être due, d'une part, à la fermeture de l'océan "proto-atlantique" à la fin de l'orogénèse calédonienne (PIQUE, 1979; ROLET & *al.*, 1986) dominée par un régime distensif au cours du Dévonien inférieur et moyen; d'autre part, à une tectonique distensive syn-viséenne également

orientée NE-SW, associée à l'ouverture de bassins en transtension (PIQUE, 1979 ; GAILLET, 1984).

Ces bassins ont commencé par enregistrer des pulsations volcaniques et hypo-volcaniques au sein du Viséen:

- mise en place des filons doléritiques précoces antérieurs à la phase de déformation intra-viséenne (phase sudète) (BOU ABDELLI, 1989; NTARMOUCHANT, 1991).

- roches ultrabasiqes à basiques, débitées en coussins, repérées dans le Chougrane (KHARBOUCH, 1988) et à Tazougaght dans la région de Aït Haddou ou Hammou au SW du Ment (ce travail). Ce volcanisme basique sous-aquatique à sub-aérien s'injecte à la faveur des fissures en extension (failles bordières des bassins viséens) en relation avec les structures en bas-fond (grabens).

Il est à noter que le Viséen s'est déposé dans les conditions de plate-forme distale (IZART & BEAUCHAMP, 1987) débutant par des dépôts conglomératiques de calcaires récifaux, d'épaisses séries turbiditiques troublées par des arrivées chaotiques conglomératiques et olistolitiques ainsi que des nappes synsédimentaires (BOU ABDELLI, 1989); il se poursuit par une épaisse série pélique passant progressivement à des flyschs viséonamuriens.

C'est après le Namurien et avant le Westphalien supérieur qu'a lieu la phase majeure de plissement hercynien synschisteux (MICHARD, 1976), d'un métamorphisme régional de degré anchi à épizonal et de chevauchement : il s'agit de la phase asturienne (MICHARD, 1976); cette dernière phase était à l'origine de l'architecture en anticlinoria-synclinoria dans le Maroc central.

Pendant cette phase de serrage, des filons basiques de nature doléritique, gabbroïque et dioritique ont intrudé l'encaissant viséonamurien du synclinorium de Fourhal-Telt et de l'anticlinorium de Zyar-Mrirt tout en édifiant, au niveau de l'auréole granite de Ment, un métamorphisme de contact (à quelques centimètres d'épaisseur de part et d'autre des épontes) à minéraux orientés (cordiérite et micas) dans la même direction que la schistosité principale. Ces filons basiques (recoupés et métamorphisés par le granite du Ment) se présentent en lames (1 à 10 m d'épaisseur, la longueur peut atteindre plusieurs kilomètres) recoupant le plus souvent les formations viséonamuriennes (dykes); parfois, ils s'y injectent en intrusions stratiformes (sills).

Tableau II : Evolution géodynamique simplifiée pendant le cycle hercynien depuis la haute Moulouya à l'Est jusqu'à l'ouest du Maroc central.

Zones structurales Age (d'après G-S et Ch. ODIN, 1990)	ZONE INTERNE MESETA ORIENTALE (Haute Moulouya) (EMBERGER, 1965 ; MICHARD, 1976 ; CLAVER et al., 1980).	MESETA CENTRE ORIENTALE (Azrou-Khénifra) (TERMIER, 1936 ; MORIN 1962 ; HUVELIN 1973 ; ALLARY et al., 1976 ; MICHARD, 1976 ; JEBRAK, 1984 ; CHEILLETZ, 1984 ; BOUABDELLI, 1989 ; YOUBI, 1990 ; N'TARMOUCHANT, 1991).	ZONE EXTERNE MESETA CENTRAL (Fourhal-Telt, Khouribga-Oulmès, Sidi Bettache). (TERMIER, 1936 ; MICHARD, 1976 ; CAILLEUX, 1974 ; PIQUE, 1979 ; JEBRAK, 1982 ; BOUSHABA, 1984 ; BOUABDELLI, 1989 ; EL WARTITI, 1990).
Thuringien Autunien 245Ma	<ul style="list-style-type: none"> - Minéralisation en relation avec les horsts et les grabens (Pb, Ag, Ba). - Volcanisme : basaltes et trachytes. - Dépôts de marnes et des conglomérats. 	<ul style="list-style-type: none"> - Compression N-S ouvrant des bassins sur décrochement sénestre à l'origine d'importantes manifestations volcaniques (basaltes, andésites, dacites et rhyodacites) et hypo-volcaniques (Leucogranites et esméraldites). - Minéralisation de Ag, Ba-Zn, F, Ba etc... dans les secteurs de Aouam et de Zrahina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Minéralisations de F, Ba, Pb, Zn en relation avec les horsts et les grabens (Zrahina et El Hamam). - Grands décrochements datés de Néo-Permien N90 à N110 à l'origine Ces : <ul style="list-style-type: none"> . Leucogranites (Zaër, Ment, Oulmès). . Bassins en pull-apart où s'installe une importante manifestation volcanique (basaltes, andésites, dacites et rhyodacites).
Stéphalien 305Ma		<ul style="list-style-type: none"> - Minéralisations polymétalliques (W, Mo, Cu, As, etc...). - Mise en place tardi-tectonique des stocks granitiques calco-alcalins de Aouam. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation des minéralisations en Sn, W, F, sulfures. - Rejeux des grands décrochements à l'origine des bassins en pull-apart. - Mise en place tardi-tectonique des granitoïdes calco-alcalins du Ment et de Moulay Bouazza.
Westphalien 315Ma	<ul style="list-style-type: none"> - Fracturation et compartimentage en horsts et grabens. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place des filons de gabbros, diorites quartziques et de microgranites. - Le régime compressif (phase ASTURIENNE) cesse dès la fin Namurien. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place des filons de dolérites, gabbros diorites et microgranites suivie de celle des granitoïdes calco-alcalins syntectoniques des Zaër et d'Oulmès. - Régime compressif (phase ASTURIENNE), structuration du synclinatorium de Fourhal-Telt et l'anticlinorium de Khouribga-Oulmès.
Tournaisien 360Ma	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place des granitoïdes calco-alcalins à métamorphisme de contact post-cinématique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intrusions de filons doléritiques précoces. - Dépôt de séries grès-conglomératiques grauwaekuses rougeâtre, tournaisiennes et de calcaires, brèches, pélite et d'épaisse séries turbiditiques troublées par des arrivées chaotiques conglomératiques et Olistolitiques ainsi que des nappes syn-sédimentaires d'âge viséen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coulées basaltiques intraviséennes souvent en coussins. - Régime distensif avec basculement de blocs ou glissement gravitaire d'E en W.
Dévonien sup. Dévonien inf. 385Ma	<ul style="list-style-type: none"> - Régime compressif (phase BRETONNE). 	<ul style="list-style-type: none"> - Dépôt caractérisant des environnements instables (calcaires griottes, Conglomératiques, récifaux et cherts) correspondant au talus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation de rides et sillons. - Régime distensif.

Lors de cette même époque une large anomalie liée aux granitoïdes du Maroc central commence à se faire sentir comme en témoigne la trajectoire de la schistosité (PIQUE, 1979 ; LAGARDE, 1985). C'est ainsi au même titre que les dolérites, que des granitoïdes syntectoniques (granite à biotite des Zaër et le faciès granitique précocé d'Oulmès) se mettent en place tout en développant une auréole de contact à minéraux thermiques synchroniques (BOUSHABA & CAILLEUX, 1988). L'interaction entre l'épisode compressif hercynien et l'anomalie thermique portée par des dolérites, gabbros et diorites d'une part et la mise en place des granitoïdes en forme de diapirs syn à tardi-tectoniques (BOUSHABA, 1984 ; DIOT & BOUCHEZ, 1986, BOUSHABA, 1986 ; BOUSHABA & CAILLEUX, 1988 ; DIOT, 1989) d'autre part, se traduit par la formation de zones de cisaillement ductile organisées en deux familles ENE-WSW dextre et subméridienne senestre (PIQUE, 1979; LAGARDE, 1985).

Plus tard, de grandes fractures ont rejoué pendant le Westphalien-Autunien, aboutissant à des bassins limniques en "pull-apart" comblés de dépôts conglomératiques, témoins de la rapidité de la remontée du bâti (JEBRAK, 1982).

D'importants décrochements qui morcellent l'ensemble du Maroc central au Néo-Permien (MICHARD, 1976) sont à l'origine, une seconde fois, de la formation des bassins en "pull-apart", d'une activité volcanique extrusive basique à acide (basalte, andésite, dacite et rhyolite) (BOUSHABA & al., 1987; EL WARTITI, 1990; CAILLEUX, 1974; YOUNI, 1990) et de leucogranites spatialement associés aux

granites calco-alcalins des Zaër, Oulmès, Ment, Aouam etc... (BOUSHABA & al., 1982; BOUSHABA, 1984).

CONCLUSION

L'origine des magmas calco-alcalins du Maroc central doit être recherchée dans la production de magma de nature calco-alcaline, d'origine mantellique métallumineuse plus ou moins contaminée par la croûte continentale, ou à partir d'une fusion de matériel crustal sous l'effet de l'intrusion d'un magma basaltique (DIDIER & LAMEYRE, 1969; LETERRIER & DEBON, 1978; ALBAREDE & al., 1979) comme l'a suggéré CHEILLETZ (1984) pour le granite calco-alcalin d'Aouam (Maroc central oriental).

L'emplacement des dolérites, gabbros, diorites, et microgranites (cartes géologiques au 1/500.000, 1955 et 1/1.000.000, 1985); l'alignement d'anomalies gravimétriques négatives (VAN DEN BOSCH, 1974) et les trajectoires du plan d'aplatissement post-viséen (PIQUE, 1979; LAGARDE, 1985) plaident pour des sites magmatiques allongés NE-SW, guidés par les structures en horsts et grabens héritées du Dévonien : ce sont ces structures qui ont évolué ultérieurement en synclinoria et anticlinoria. Il est donc possible de supposer l'existence d'un magma initial de la famille dolérite-gabbro (TERMIER, 1936) ayant été à l'origine, des diverses expressions magmatiques dans le Maroc central durant la période Carbonifère-Permien par différenciation magmatique (BOUSHABA & al., 1987).

Remerciements

Cette étude a été réalisée et soutenue financièrement (Coût des analyses chimiques faites au CRPG-Nancy) par le laboratoire de Pétrologie Structurale et Métallogénie, dirigé par Claude GAGNY, Professeur à l'Université de Nancy I. Le manuscrit de cette note a été relu et corrigé par Christian MARIGNAC (I.N.P.L., Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy), Ahmed EL HASSANI (Université Mohammed V, Institut Scientifique de Rabat) et Yves CAILLEUX (U.L.P., Strasbourg I).

REFERENCES

- ALLARY, A.; LAVENU A. & RIBEYROLLES, M. (1976). - Etude tectonique et microtectonique d'un segment de chaîne hercynienne dans la partie sud-orientale du Maroc central. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 261, 169 p.
- ALBAREDE, F.; DUPUIS, C. & TAYLOR, H.P.Jr. (1979). - Caractérisation des différentes sources magmatiques dans le pluton concentrique de Ploumanac'h (Côte du Nord) par les isotopes de l'oxygène. *7ème R.A.S.T.*, Lyon., p. 3, *Soc. géol. France*, Ed.Paris.
- BACON, C.R.; MC DONALD, R.; SMITH, R.L. & BAEDÉCHER P.A. (1981). - Pléistocène high-silica rhyolites of the Coso volcanic field, Inyo Country, California. *J. Geophys. Res.* 86, 10223-10241.
- BANDURKIN, G.A. (1961). - On the behavior of rare earth elements in fluor bearing environments. *Geochemistry*, 2, 159-167.
- BONIN, B. (1982). - *Les granites des complexes annulaires*. BRGM, Manuels et méthodes, n°4, 183 p.

- BOUABDELLI, M. (1989). - *Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique: le sillon viséen d'Azrou-Khénifra (Est du Massif hercynien central du Maroc)*, Thèse d'Etat, Strasbourg, 262 p.
- BOUSHABA, A. (1984). - *Contribution à la connaissance géologique du complexe granitique du Ment et de son encaissant (Maroc central). Etude pétrologique, géochimique et structurale*. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Mohammed V, Fac. Sci., Rabat, 186 p.
- BOUSHABA, A. (1989). - Histoire de mise en place et évolution géochimique du complexe granitique du Ment (comportement des éléments majeurs, traces et terres rares). *Colloque de Géologie Franco-Marocain*, Strasbourg, p. 50.
- BOUSHABA, A. & CAILLEUX, Y. (1988). - Les relations métamorphismes-déformations au voisinage des granitoïdes hercyniens du Maroc central. *Journées de la géologie marocaine*, Rabat, 26-28.
- BOUSHABA, A.; CAILLEUX, Y.; & EL WARTITI, M. (1987). - Le magmatisme de la Meseta marocaine au paléozoïque supérieur: géochimie et modèle génétique. *Bull. Sci. Terre*, Rabat, 3, 104-138.
- BOUSHABA, A. & GAGNY, Cl. (1986). - Le complexe granitique du Ment (Maroc central): étude pétrographique, géochimique et métallogénique. *Bull. Sci. Terre*, Rabat, 2, 125-140.
- BOUSHABA, A.; QUIN, J.P. & GAGNY, Cl. (1982). - Protrusions de leucogranite et métamorphisme de contact dans le massif du Ment (plateau central marocain). *9ème R.A.S.T.*, Paris, p. 87.
- CAILLEUX, Y. (1974). - *Géologie de la région de Smaïla (Massif central marocain); stratigraphie du primaire et tectonique hercynienne*. Thèse 3ème cycle, Strasbourg, 97 p.
- CAMPBELL, I.H.; GORTON, M.P.; FRANKLIN, J.M. & THURSTON P.C. (1981). - Rare earth elements as a guide to massive sulfide exploration. *Geol. Assoc. Canada*, Program with abstracts, v.6, 1-8.
- CHEILLETZ, A. (1984). - *Contribution à la géologie du district polymétallique (W, Mo, Cu, Pb, Zn, Ag) du Djebel Aouam (Maroc central). Application à la prospection des gisements de tungstène*. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Nancy, 273 p.
- CHORLTON, L.B. & MARTIN, R.F. (1978). - The effect of Boron on granite solidus. *Can. Mineral.*, 16, 239-244.
- CHRISTIANSEN, E.H.; BURT, D.M. & SHERIDAN, H.F. (1981). - Evidence for magma mixing in rhyolites from Spor Mountain, Utah. *Geol. Soc. America*, Abstracts with programs, v.13, p. 426.
- CHRISTIANSEN, E.H.; BURT D.H.; SHERIDAN H.F. & WILSON R.T. (1983). - The petrogenesis of topaz rhyolites from the Western United States. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 83, 16-30.
- COCHERIE, A. (1978). - *Géochimie des terres rares dans les granitoïdes*. Thèse 3ème cycle, Univ. Rennes, 207 p.
- CLAUER, N.; JEANNETTE, D. & TISSERANT, D. (1980). - Datation isotopique des cristallisations successives d'un socle cristallin et cristallophyllien (Haute Moulouya, Moyen Maroc). *Geol. Rdsch.* 69, 1, 63-83.
- DIDIER, J. (1973). - *Granites and their enclaves*. Elsevier, Amsterdam, 393 p.
- DIDIER, J. & LAMEYRE J. (1969). - Les granites du massif central français; étude comparée des leucogranites et granitoïdes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 24, 219-238.
- DIOT, H. (1989). - *Mise en place des granitoïdes hercyniens de la Meseta marocaine. Etude structurale des massifs de Sebti de Brikine (Rehamna), de Zaër et d'Oulmès (Massif central) et d'Aouli Bou-Mia (Haute Moulouya). Implications géodynamiques*. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Toulouse, 182 p.
- DIOT, H. & BOUCHEZ, J.L. (1986). - Les diapirs emboîtés du Zaër (Meseta Marocaine); arguments structuraux de leur mise en place. *11ème R.A.S.T.*, Clermont-Ferrand.
- EL WARTITI, M. (1990). - *Le Permien du Maroc mesetien : étude géologique et implications paléogéographiques*. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Mohammed V, Rabat, 501 p.
- EMBERGER, A. (1965). - Introduction à l'étude des minéralisations plombifères de la Haute Moulouya. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 181, 167-174.
- EWART, A.; OVERSBY, V.M. & MATEEN, A. (1977). - Petrology and isotope geochemistry of tertiary lavas from the northern flank of the Tweed volcano, southeastern Queensland. *J. Petrol.*, 18, 73-113.
- GAILLET, J.L. (1984). - Evolution du bassin carbonifère de la Meseta méridionale (Maroc). *10ème R.A.S.T.*, Bordeaux, p.241.
- GAUTHIER, J.C. (1975). - *Evolution granitique, développement des granites à deux micas et géochimie des alcalins dans la Marche orientale (Massif Central Français)*. Thèse de 3ème cycle, Univ. de Nancy I.
- GIULIANI, G. (1984). - Les concentrations filoniennes à tungstène-étain du massif granitique des Zaër (Maroc Central) : minéralisation et phases fluides associées. *Mineral. Deposita*, 19, 193-201.
- GLYUK D.S. & TRUFANOVA, L.G. (1977). - Melting at 1000 kg/cm² in a granite-H₂O system with the addition of HF and Li, Na and K fluorides, chlorides, and hydroxydes. *Geochem. Internat.*, 14, 4, 28-36.
- HILDRETH, W. (1979). - The Bishop tuff. Evidence of the origine of compositional zonation in silicic magma chambers. *Geol. Soc. of Amer.*, sp. paper 180, 43-75.

- HUON, S. (1985). - *Clivage ardoisier et réhomogénéisation isotopique K-Ar dans les schistes paléozoïques du Maroc. Etude microstructurale et isotopique. Conséquences régionales.* Thèse Univ. Strasbourg, 124 p.
- HUVELIN, P. (1973). - Déformations hercyniennes précoces dans la région comprise entre Azrou, Aguelmous et Khénifra (Massif hercynien central). *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 34, 254, 93-107.
- IZART, A. & BEAUCHAMP, J. (1987). - Le Carbonifère inférieur de la Meseta marocaine : sédimentation et paléogéographie. *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, 11, 79-89.
- JAMES, R.S. & HAMILTON, D.L. (1969). - Phase relations in the system Na Al Si₃O₈ - K Al Si₃O₈ - Ca Al₂ Si₂O₈ at 1 kilobar water vapour pressure. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 21, 111-141.
- JEBRAK, M. (1982). - Les districts à fluorine du Maroc central. *Bull. Bur. Rech. Geol. Min. Fr.*, (2), II, 211-221.
- KEITH, J.D. (1980). - *Miocene porphyry intrusions, volcanism, and mineralization, Southwestern Utah and Eastern Nevada.* M.S. Thesis University of Wisconsin, Madison.
- KHARBOUCH, F. (1988). - Le volcanisme préorogénique hercynien du Maroc central. Pétrographie, géochimie et signification géodynamique. *Journées chaîne hercynienne*, Rabat.
- LAGARDE, J.L. (1985). - Cisaillements ductiles et plutons granitiques contemporains de la déformation hercynienne post-viséenne de la Meseta marocaine. *Hercynica*, I, 1, 29-37.
- LA ROCHE, H. de. & ISNARD, P. (1978). - A comparison between conventional and statistical processing of 330 rocks analyses on a regular network sampling in an association of biotite granites and two mica leucogranites. *Sci. de la Terre*, Nancy, Ser. "informatique, géologique", 12, 65-98.
- LA ROCHE, H. de.; STUSSI, J.M. & CHAURIS, L. (1980). - Les granites hercyniens français. Essais de cartographie et de corrélations géochimiques appuyés sur une banque de données. Implications pétrogénétiques et métallogénétiques. *Sci. de la Terre*, Nancy, XXIV, 1, 5-121.
- LETERRIER, J. & DEBON, F. (1978). - Caractères chimiques comparés des roches granitoïdes et de leurs enclaves microgrenues. Implications génétiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XX, p 3-10.
- MAHMOOD, A. (1980). - *Etude pétrologique du granite hercynien des Zaër (Massif Central Marocain).* Thèse Doct. d'Etat, Univ. Clermont-Ferrand, 421 p., 1 carte, 2 vol.
- MANNING, D.A.C. (1980). - An experimental study of the effect of fluorine on crystallization of granitic melts. *M.A.W.A.M.*, vol. 6.
- MICHARD, A. (1976). - Eléments de géologie marocaine. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 252, 408 p.
- MINEYEVE, D.A.; DIKOV, Yu. P.; SOBOLEV, B.P. & BORUTSKAVA, V.L. (:966). - Differentiation of rare earth elements under supercritical conditions. *Geochem. Int.*, 3, 357-359.
- MORIN, Ph. (1951). - Quelques problèmes relatifs aux roches granitiques et microgranitiques et à leur minéralisation dans le Maroc central. *Notes. et Mém. Serv. géol. Maroc*, 4, 85, 163-182.
- MORIN, Ph. (1962). - Une vue d'ensemble nouvelle des formations anté-viséennes du pays des Zaïan (anticlinorium de Kasba-Azrou, Maroc central). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 254, 3385-3387.
- MRINI, Z. (1985). - *Age et origine des granitoïdes hercyniens du Maroc : Apports de la géochronologie et de la géochimie isotopique (Sr, Nd, Pb).* Thèse Doct. Univ. Clermont-Ferrand, 156 p.
- MUECKE, G.K. & CLARKE, D.B. (1981). - Geochemical evolution of the south Moutain Batholith, Nova Scotia : Rare earth evidence. *Can. Mineral.*, 19, 133-145.
- N'TARMOUCHANT, A. (1991). - *Le magmatisme hercynien de la région de Mrirt (Est du massif central marocain).* Cartographie, pétrographie et contexte géodynamique. DEA, Fac. Sciences Fès,
- ODIN, G-S. & ODIN, C. (1990). - Echelle numérique des temps géologiques. *Géochronique*, 35, 12-21.
- PICHAVANT, M. (1981). - An experimental study of the effect of boron on a water saturated haplogranite at 1 bar, vapour pressure. Geological applications. *Contrib. Min. Petrol.*, 76, 430-439.
- PIQUE, A. (1979). - Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne: la Meseta marocaine Nord-occidentale. *Sci. géol., Mém.*, Strasbourg, 56, 253 p.
- RIBEYROLLES, M. (1972). - Etude tectonique et microtectonique d'un segment de chaîne hercynienne dans la partie Sud-orientale du Maroc central. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 261, 170 p.
- ROLET, J.; LE GALL, B.; DARBOUX, J.R.; THONON P. & GRAVELLE, M. (1986). - L'évolution géodynamique dévono-carbonifère de l'extrémité occidentale de la chaîne hercynienne d'Europe sur le transect Armorique-Cornwall. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), II, 1, 43-54.
- SHAW, D.M. (1968). - A review of K-Rb fractionation trend by covariance analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 32, 6, 573-601.
- SMIRNOV, M.V. (1973). - Electrode potentials in Molten chlorides. Nauka Press, Moscow.
- TAYLOR, R.P. & FRYER, B.J. (1983). - Rare earth element lithogeochemistry of granitoid mineral deposits. *CIM Bulletin*, 76, 860, 74-84.
- TERMIER, H. (1936). - Etudes géologiques sur le Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 33, 1966 p.

- TUTTLE, O.F. & BOWEN, N.L. (1958). - Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$ - $\text{K Al Si}_3\text{O}_8$ - SiO_2 - H_2O . *Géol. Soc. Amer. Mem.* 74, 153.
- VAN DEN BOSCH, J. (1974). - Quelques principes généraux de l'interprétation gravimétrique illustrés par des exemples empruntés à la carte gravimétrique du Maroc (structure du Rif et intrusions granitiques au Maroc central). *Notes Serv. géol. Maroc*, 255, 117-136.
- VELDE, B. & KORNPORST, J. (1969). - Stabilité des silicates d'alumine hydratés. *Contrib. Min. Petrol.*, 21, 63-74.
- VIGNERESSE, J.L. (1988). - Forme et volume des plutons granitiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (8), IV, 6, 897-906.
- YOUBI, N. (1990). - *Le complexe volcanique permien de Khénifra (SE du Maroc central)*. Thèse de 3ème cycle, Univ. Fès, 340 p.

Adresse de l'auteur:

Département de Géologie
Institut Scientifique
B.P. 703 Rabat-Agdal
et C. R. P. G.
15 rue Notre Dame des Pauvres, B.P. 20
54501 Vandoeuvre Cedex (France)

ANNEXE

Ech.	M1	M5	M6	M14	M15	M17	M18	MT81	Z18a	Z18b	MT56	MT82	M2	M4
SiO2	71.80	71.90	70.20	71.90	72.20	70.20	73.70	69.74	73.79	74.17	75.38	74.35	74.30	76.10
Al2O3	13.80	14.70	15.00	14.00	13.60	15.30	13.90	14.30	14.11	13.41	12.99	12.85	13.50	13.50
Fe2O3	1.89	0.93	1.12	0.94	1.01	1.11	0.93	4.05	1.89	1.70	1.68	2.28	1.03	0.61
FeO	1.09	1.23	2.32	1.93	1.16	1.16	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.58
MnO	0.05	0.04	0.07	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.03	0.06	0.05	0.05	0.03	0.02
MgO	0.55	0.40	0.75	0.40	0.22	0.49	0.20	0.85	0.03	0.13	0.03	0.31	0.29	0.63
CaO	0.90	0.90	1.75	0.65	0.75	0.85	0.75	1.71	0.60	0.37	0.24	0.70	0.55	0.40
Na2O	3.10	3.20	3.50	2.40	3.10	3.15	3.15	3.18	2.96	3.01	3.16	3.07	3.10	3.20
K2O	5.45	5.85	4.45	5.65	5.55	5.85	5.60	4.74	4.96	4.88	4.84	4.87	5.45	5.05
TiO2	0.40	0.25	0.55	0.45	0.40	0.45	0.35	0.62	0.17	0.17	0.08	0.34	0.35	0.20
P2O5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.06	0.04	0.04	0.00	0.00
H2O+	0.85	0.59	0.55	1.50	1.10	0.96	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.70
H2O-	0.05	0.00	0.00	0.24	0.00	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05
P.F.	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	1.18	1.09	1.02	0.87	0.00	0.00
Total	99.93	99.99	100.26	100.10	99.13	99.62	100.59	100.25	99.72	99.05	99.51	99.73	100.20	101.04
Ba	580	425	660	560	330	500	430	471	-	137	69	202	770	1540
Sr	80	80	115	60	40	75	45	151	-	40	25	66	45	40
V	-	-	-	-	-	-	-	97	-	22	32	55	0	0
Rb	230	240	245	230	250	260	235	266	-	557	354	316	260	305
Li	-	75	100	95	90	150	80	0	312	312	-	-	115	130
Fz	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33	0.30	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-	-	-	-	22.00	22.00	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-
W	-	-	-	-	-	-	-	-	12.00	2.00	2	11	-	-
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50	0.50	-	-	-	-

Ech.	Gp	Gnp	Lfm	Lg	Lfzt
La	42,29	9,14	13,35	3,22	2,30
Nd	39,59	8,91	15,20	3,37	3,27
Eu	1,33	0,16	0,39	0,11	0,24
Dy	6,43	2,66	5,44	2,12	1,49
Yb	4,16	2,13	4,16	1,99	1,19
Ce	96,52	22,46	35,23	9,66	7,11
Sm	8,73	2,73	4,67	1,65	1,70
Gd	6,36	2,47	3,74	1,31	1,21
Er	3,50	1,62	3,16	1,09	0,59
Lu	0,58	0,28	0,54	0,27	0,15
Y	46,71	22,06	41,21	15,28	9,54
T.R.	209,49	52,86	85,88	24,79	19,25
La/Yb	10,17	4,29	3,21	1,62	1,93
La/Sm	4,84	3,34	2,86	1,95	1,35
Gd/Yb	1,53	1,16	0,90	0,66	1,00
Y	46,71	22,06	41,21	15,28	9,54
Cor.m.	1,14	2,21	2,01	3,07	3,67
SiO2m.	69,74	75,38	75,70	74,75	73,56



Tableau III : Analyse chimique de l'association calco-alcaline. M1 à M81, granite porphyrique à biotite ferrifère (granodiorite); Z18a et Z18b, granite porphyrique à biotite rééquilibré; MT56 à M4, granite non porphyrique à sidérophylite et andalousite (monzogranite).



Tableau IV : Concentrations de terres rares (+ Yttrium) en ppm, mesurées au CRPG (Marshall), par émission-plasma (ICP) pour les divers types de faciès granitique du Ment. Association calco-alcaline : Gp, granite porphyrique à biotite ferrifère; Gnp, granite non porphyrique à sidérophylite et andalousite. Association leucogranitique : Lfm, leucogranite fin à deux micas; Lg, leucogranite grossier à sidérophylite et topaze; Lfzt, leucogranite fin à zinnwaldite et topaze.

Tableau V : Analyses chimiques de l'association leucogranitique : Z27 à Z12, leucogranite grossier à sidérophylite et topaze; Z40 à Z35, leucogranite fin à zinnwaldite et topaze.

Ech.	Z27	Z14	Z41	M66	Z28	Z12	Z40	Z30	Z31	M72	Z38	Z10	Z10	Z29	Z35
SiO2	74.75	75.83	73.14	73.98	76.28	76.64	73.56	73.90	74.58	74.26	74.89	74.57	73.35	74.72	76.40
Al2O3	14.39	13.62	14.51	14.69	13.12	13.09	15.01	13.95	14.46	14.71	14.04	14.15	14.31	14.20	14.06
Fe2O3	1.02	1.26	1.21	1.25	0.93	1.50	1.71	1.12	0.92	0.92	1.07	1.09	1.21	1.09	1.11
FeO	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	0.00
MnO	0.03	0.03	0.08	0.02	0.02	0.04	0.12	0.06	0.02	0.01	0.02	0.04	0.08	0.03	0.08
MgO	0.03	0.03	0.00	0.09	0.03	0.03	0.08	0.00	0.03	0.07	0.07	0.03	0.00	0.05	0.00
CaO	0.21	0.23	0.00	0.14	0.27	0.24	3.86	2.77	3.75	3.69	3.39	2.91	2.90	2.19	1.41
Na2O	3.74	2.78	3.55	3.15	3.49	1.84	4.61	5.44	4.23	4.53	4.77	5.61	5.75	5.06	5.16
K2O	4.42	4.38	4.72	4.96	4.61	4.46	4.61	5.44	4.23	4.53	4.77	5.61	5.75	5.06	5.16
TiO2	0.03	0.07	0.17	0.04	0.03	0.07	0.00	0.02	0.03	0.04	0.03	0.06	0.10	0.04	0.02
P2O5	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.13	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
H2O+	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O-	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	0.00
P.F.	1.18	1.35	1.18	1.32	1.38	1.78	1.39	1.24	1.17	1.05	1.32	1.14	1.06	1.83	1.67
Total	99.80	99.58	98.68	99.64	99.16	99.69	100.47	98.68	99.37	99.44	99.74	99.86	98.77	99.38	100.16
Ba	-	-	20	-	-	-	28	48	-	-	-	-	61	-	52
Sr	-	13	20	-	-	-	25	22	-	-	-	-	25	-	66
V	-	0	21	-	-	-	20	28	-	-	-	-	12	-	27
Rb	-	711	894	-	-	-	1473	905	-	-	-	-	1115	-	751
Li	-	-	453	-	-	-	1451	279	-	-	-	478	478	-	172
FZ	-	-	0.52	-	-	-	1.00	0.30	-	-	-	0.65	0.65	-	0.30
B	-	-	22.00	-	-	-	20.00	20.00	-	-	-	20.00	20.00	-	20.00
Sn	-	-	0	-	-	-	37	44	-	-	-	6	0	-	930
W	-	-	17.90	-	-	-	42.50	14.50	-	-	-	26.50	26.50	-	104.00
Mo	-	-	0.50	-	-	-	0.10	0.14	-	-	-	0.10	0.10	-	0.20

Tableau VI : Analyses chimiques du leucogranite fin à deux micas.

Ech.	M15	Z63	Z21	Z26	M19	M20	Z19	M31	Z11	Z16	Z19	Z17	Z64	Z21
SiO2	77.29	75.70	75.14	74.53	76.89	77.61	75.51	76.63	75.96	74.12	75.56	75.44	77.42	74.96
Al2O3	12.75	12.77	13.64	14.31	12.98	12.88	13.42	12.49	13.20	14.09	13.17	13.88	12.19	13.85
Fe2O3	0.76	0.76	1.36	1.33	0.49	0.44	1.20	0.53	1.07	0.97	1.28	0.70	0.18	1.31
FeO	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
MnO	0.03	0.04	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
MgO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.08	0.04	0.03	0.00	0.03
CaO	0.00	0.03	0.00	0.08	0.00	0.06	0.04	0.09	0.23	0.07	0.29	0.11	0.22	0.19
Na2O	2.36	2.95	3.11	3.15	2.97	3.04	2.87	3.10	3.15	1.01	2.77	2.97	3.50	3.14
K2O	5.13	5.41	4.73	4.68	5.68	5.10	5.12	5.17	4.82	7.32	5.15	5.26	4.79	8.85
TiO2	0.03	0.06	0.08	0.03	0.30	0.00	0.16	0.08	0.05	0.06	0.07	0.05	0.00	0.06
P2O5	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O+	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
H2O-	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
P.F.	1.51	1.03	1.18	1.73	0.79	0.84	1.15	0.73	1.13	1.50	1.13	1.22	0.74	1.27
Total	99.86	98.75	99.45	99.90	99.85	100.02	99.58	98.87	99.67	99.23	99.48	99.68	99.06	103.69
Ba	26	59	27	-	45	13	44	70	-	-	-	-	47	-
Sr	19	16	33	-	15	11	10	37	-	-	-	-	10	-
V	14	10	18	-	10	10	10	24	-	-	-	-	10	-
Rb	275	351	774	-	346	387	667	223	-	-	-	-	211	-
Li	46	68	327	-	-	-	89	23	-	-	89	-	23	-
FZ	0.15	0.04	0.33	-	-	-	0.22	0.04	-	-	0.22	-	0.01	-
B	20.00	20.00	20.00	-	-	-	26.00	20.00	-	-	26.00	-	20.00	-
Sn	0.00	0.00	0.00	6	-	-	17	20	-	-	17	-	17	-
W	43.00	5.10	11.30	-	-	-	12.60	3.70	-	-	12.60	-	56.00	-
Mo	0.30	0.20	0.20	-	-	-	0.10	0.20	-	-	0.10	-	0.30	-