

Le magmatisme terminal de la chaîne hercynienne: signification géodynamique d'une association magmatique identifiée dans le Carbonifère terminal du Massif Hercynien Central Marocain

The latter hercynian magmatism: Geodynamic setting of a magmatic sequence identified in the upper Carboniferous of the Hercynian Central Massif of Morocco

A. NTARMOUCHANT*; M. L. RIBEIRO**; M. DAHIRE*; M. BEN ABBOU*; Y. DRIOUCH*; A. BOUSHABA*;
M. E. MOREIRA*** & J. M. F. RAMOS***

Mots-clés: Chaîne hercynienne, Meseta marocaine, Bassin d'avant pays, Marge active.

Résumé: Dans la partie orientale du Massif Hercynien Central Marocain, des sills sont interstratifiés au sein des formations du Carbonifère supérieur du bassin méridional d'Azrou-Khénifra. Mis en place parallèlement à la stratification, ces sills sont déformés avec leur encaissant par des plis associés aux chevauchements contrôlant la sédimentation, ce qui démontre leur caractère syntectonique. Leur composition chimique permet de distinguer deux ensembles magmatiques interstratifiés dans deux séries sédimentaires qui se succèdent dans le temps: la série de Tanwalt datée V3b et la série de Talgarat d'âge V3c-Namurien probable. Le premier ensemble magmatique englobe des roches basiques à caractère transitionnel et une affinité alcaline, tandis que le deuxième renferme des roches à caractère calco-alcalin. Ces deux ensembles, montrant d'étroites relations pétrographiques, présentent plusieurs similitudes géochimiques avec les séries magmatiques des zones de marges actives.

Les signatures géochimiques et l'évolution magmatique de ces roches sont compatibles avec les données tectono-sédimentaires qui caractérisent le bassin d'Azrou-Khénifra, comme un bassin en compression, s'intégrant dans le système d'avant-pays déterminé par des séquences de chevauchements se propageant vers le NW.

Key-words: Hercynian chain, Moroccan meseta, Foreland basin, Active margins.

Abstract: In the eastern part of the Central Hercynian Massif of Morocco, some sills are interbedded with the Upper Carboniferous formations of the southern basin of Azrou-Khénifra. These sills displays the same folds and overthrusts that observed in the surrounding sedimentary beds, a fact that demonstrates their syntectonic character. Their chemical composition allows the distinction of two different magmatic sequences superposed in the sedimentary Tanwalt and Talgarat series, respectively of V3b and probably of Namurian-V3c ages. The first magmatic set includes basic rocks with a transitional character and alkaline affinity, whereas the second contains rocks with a calc-alkaline signature. These two sets, showing close relationships, present several geochemical similitudes with those of active margin zones.

The geochemical signatures and the magmatic evolution of these rocks are compatibles, such as the tectono-sedimentary data who characterise the basin of Azrou-Khénifra, as generated in a compressive regime of a foreland basin system which was determined by a sequence of overlapping propagating NW sense.

Palavras-chave: Cadeia hercínica, meseta marroquina, margem activa.

Resumo: Na parte oriental do Maciço Hercínico Central de Marrocos afloram alguns filões intercalados em formações do Carbónico superior do Sudeste da bacia de Azrou-Kénifra. Estes filões instalaram-se paralelamente à estratificação e foram deformados por dobramentos associados aos cavalgamentos que controlaram a sedimentação, o que demonstra o seu carácter sintectónico. A sua composição química permitiu distinguir dois tipos de sequências magmáticas sobrepostas nas séries de Tanwalt e Talgarat, respectivamente de idades V3b e Namuriano-V3c, provável. A primeira inclui rochas básicas de carácter transicional e afinidade alcalina, enquanto a segunda possui uma assinatura calco-alcalina. Estas sequências magmáticas apresentam estreitas semelhanças petrográficas e geoquímicas com as que ocorrem em ambientes de margem activa.

As assinaturas geoquímicas e a evolução magmática destas rochas são compatíveis com os dados tectono-sedimentares que caracterizam a bacia de Azrou-Kénifra como uma bacia desenvolvida em regime compressivo, integrada num sistema de "avant pays" determinado por sequências de cavalgamentos propagando-se para NW.

* Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences Dhar Mahraz, Département des Sciences de la Terre, B. P. 1796, Atlas Fès (Maroc).

** Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Geologia, Estrada da Portela, Zambujal, 2720 Alfragide (Portugal).

*** Instituto Geológico e Mineiro, Laboratório, Rua da Amieira, 4466-955, S. Mamede de Infesta (Portugal).

INTRODUCTION

Le magmatisme carbonifère terminal de nature essentiellement basique de la chaîne hercynienne est très répandu au Maroc. Cependant son environnement tectonique n'a pas fait l'objet de beaucoup de discussions. Affleurent sous forme de coulées avec des structures en pillows lavas ou de sills, ce magmatisme est très bien présenté dans les séries sédimentaires du Carbonifère terminal.

Dans le bassin d'Azrou-Khénifra, situé à l'Est du Massif Hercynien Central Marocain (MHCM) (Fig. 1A et B), les affleurements magmatiques apparaissent au sein des séries sédimentaires bien datées. Ce bassin est localisé aux fronts des chevauchements hercyniens de la Meseta

Orientale (PIQUE, 1979, 1983; PIQUE & MICHARD, 1981, 1989; HOEPFFNER, 1987; BOUABDELLI, 1989) et est caractérisé par une sédimentation à dominance silico-clastique synorogénique (FAIK, 1988; BOUABDELLI, 1989; BEN ABBOU *et al.*, 2001). Ce bassin est également défini sur la base de données tectono-sédimentaires comme un bassin d'avant-pays (BOUABDELLI & PIQUE, 1996; BEN ABBOU *et al.*, 2001; BEN ABBOU, 2001). Ces bassins sont caractérisés par un diachronisme de la déformation, plus précoce dans les parties orientales des bassins dans l'ensemble de la Meseta marocaine.

Dans la partie méridionale de ce bassin, des sills sont interstratifiés au sein des formations silico-clastiques du Carbonifère terminal (Fig. 1C). Identifiés pour la première

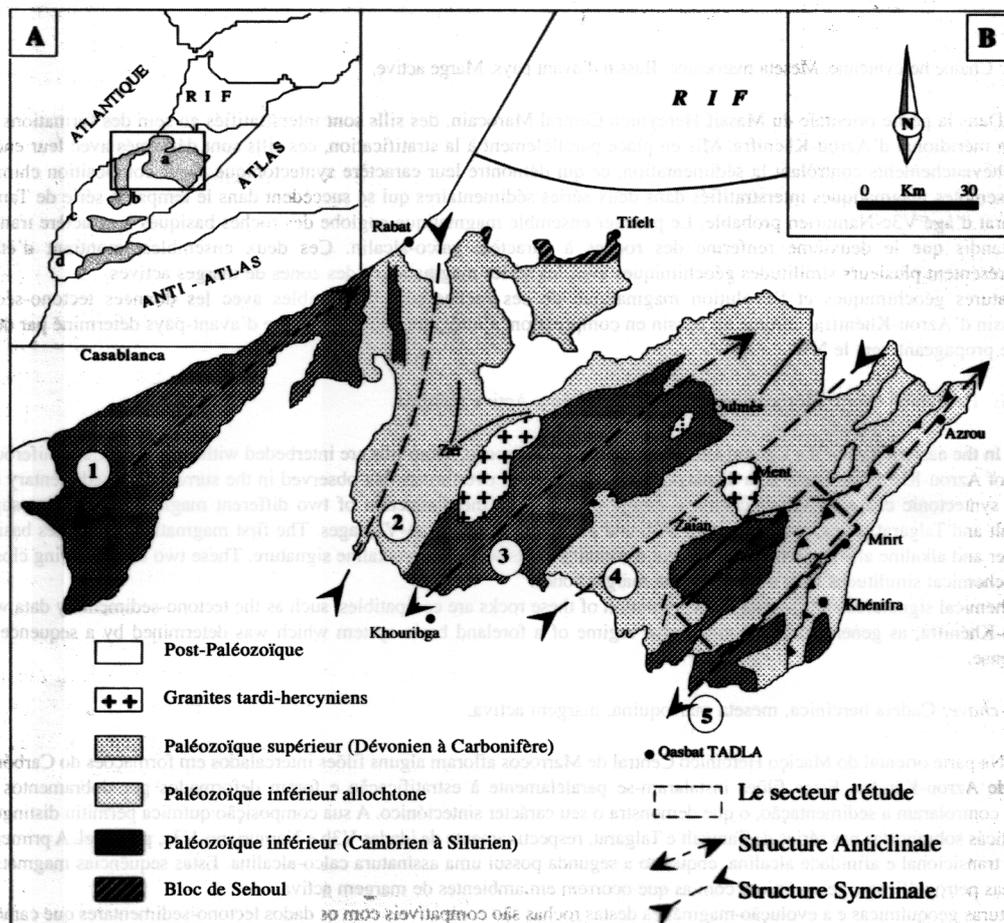


Fig. 1 – A: Situation du Massif Hercynien Central sur la carte du Maroc. a: Massif Hercynien Central; b: Les Rehamna; c: Les Jbilet; d: Massif du Haut Atlas occidental.

B: Les différents unités structurales du Massif Hercynien marocain (*in* BOUABDELLI, 1989) et localisation du secteur d'étude. 1: anticlinorium de Casa Blanca; 2: Synclinorium Occidental; 3: anticlinorium de Khouribga-Oulmès; 4: synclinorium de Fourhal-Telt; 5: anticlinorium de Qasbat Tadla-Azrou.

– A: Hercynian Central Massif situation on the geologic map of Morocco. a: The Hercynian Central Massif; b: Rehamna; c: Jbilet; d: Western High Atlas massif.

B: Different structural unites of the Hercynian Moroccan massif (*in* BOUABDELLI, 1989) and the localisation of the studied region. 1: Casa Blanca anticlinorium; 2: Western synclinorium; 3: Khouribga anticlinorium-Oulmès; 4: Fourhal-Telt synclinorium; 5: Qasbat Tadla-Azrou anticlinorium.

fois par AGARD *et al.* (1958), les sills de composition basique sont par la suite cartographiés et définis géochimiquement par NTARMOUCHANT (1991) et AÏT EL AMRI (1996). Cependant, ces roches n'ont pas fait l'objet d'une étude géochimique exhaustive.

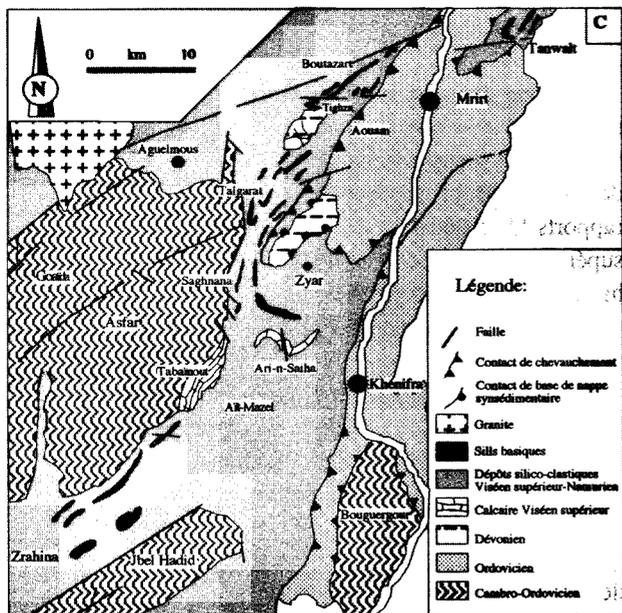


Fig. 1 – C: Carte géologique du bassin méridional d'Azrou-Khénifra montrant les principaux affleurements de roches basiques interstratifiées dans les formations silico-clastiques du Carbonifère terminale (Est du Maroc Hercynien Central).

– C: Geologic map of the Southern part of the Azrou-Khénifra basin showing the main out crops of basic rocks interbedded in the silice-clastic Upper Viséan formations of the Eastern part of Hercynian Central Morocco.

Les objectifs de cette note sont: (I) de présenter, sur la base de données pétrographiques, minéralogiques et géochimiques nouvelles, les caractéristiques chimico-minéralogiques et typologiques des différents faciès magmatiques du Carbonifère terminal de la partie méridionale du bassin d'Azrou-Khénifra (Sud-Est du Massif Hercynien Central); (II) de définir la place et la signification qu'occupe ce magmatisme dans les modèles géodynamiques proposés pour l'interprétation de la chaîne hercynienne du Maroc durant la période du Carbonifère terminal et enfin, (III) de comparer ce magmatisme avec les autres affleurements magmatiques de même âge qui jalonnent d'autres secteurs de la Meseta marocaine.

CADRE GEOLOGIQUE

A l'échelle de la Meseta marocaine, les séries carbonifères occupent des dépocentres d'ordre I où la sédimen-

tation catastrophique de la bordure Est interfère avec une sédimentation de turbidite et de tempestite vers la bordure Ouest (BEN ABBOU *et al.*, 2001; BEN ABBOU, 2001). Cette succession de dépôts correspond à la progression de deux séquences de chevauchements progrades vers le NW.

Dans le cadre de cette étude deux colonnes stratigraphiques synthétiques ont été réalisées dans les séries carbonifères encaissant les roches magmatiques interstratifiées (Fig. 2). Le caractère dispersé des affleurements, lié à une tectonique chevauchante complexe, ne permet pas d'établir une coupe continue et détaillée pour l'ensemble de la région. Cependant l'étude de terrain montre que les roches magmatiques apparaissent au sein de la série grésopélitique du Viséen supérieur située juste au-dessus de la barre calcaire V3b (FAÏK, 1988) et dans la série chaotique sus-jacente du V3c-Namurien probable (Fig. 2A et B). La partie inférieure, nommée série de Tanwalt, est constituée à l'Ouest par des conglomérats bréchiques à galets quartzitiques passant progressivement à des calcaires bioclastiques puis à des marnes à passés gréseuses. L'ensemble est surmonté par une série turbiditique à alternance rythmique de grès et pélites. Cette série est constituée à l'Est par des turbidites comportant des olistostromes de nature très variée dont l'épaisseur va de quelques mètres à des dizaines de mètres. L'épaisseur de cette série est inestimable à cause des chevauchements qui masquent sa bordure Est. La partie supérieure, nommée série de Talgarat, débute à l'Est par des débris (dépôts catastrophiques) à galet de calcaire V3b, de grès et de quartzites qui alternent avec des turbidites à alternance de bancs gréseux et de pélites. Cette série est surmontée par une formation de bancs calcaires gréseux riches en végétaux alternant avec des pélites. Cette formation passe progressivement à des turbidites à alternance rythmique de pélites et de grès. A l'Ouest, cette série essentiellement de nature silico-clastique, débute par des bancs gréseux à base ravinante microconglomératique qui alternent avec des pélites. Cet ensemble passe progressivement à des tempestites de bancs gréseux alternant avec des pélites.

Les roches magmatiques apparaissent au sein de ces formations sous forme de sills de puissance métrique à décamétrique plissés et schistosés avec leur encaissant immédiat d'âge Carbonifère par des plis associés aux chevauchements contrôlant la sédimentation, ce qui démontre leur caractère syntectonique. Les sills magmatiques ont une puissance variable allant d'une dizaine de centimètres à des dizaines de mètres. Ils sont le plus souvent associés en faisceaux NE-SW, allongés suivant les gouttières carbonifères de Tanwalt, Boutazart, Talgarat et Zrahina.

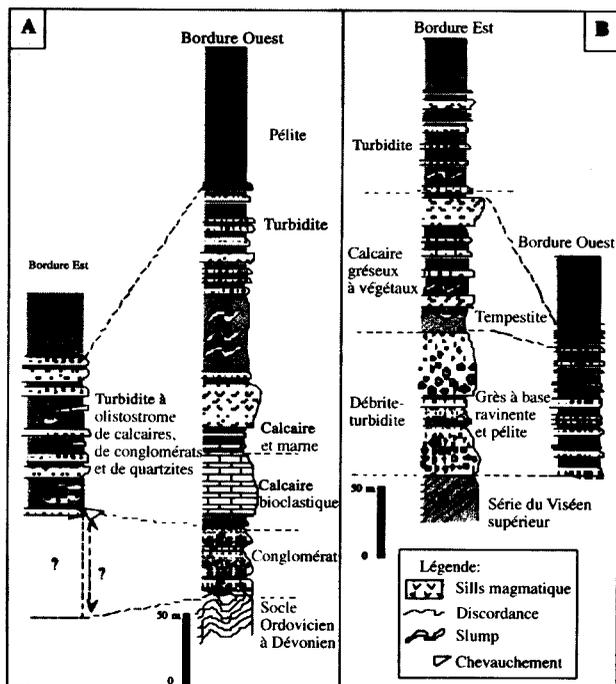


Fig. 2 – Colonnes stratigraphiques synthétiques des séries sédimentaires de la partie Est du Massif Hercynien Central. A: Colonne stratigraphique du Viséen supérieur (Série de Tanwalt); B: Colonne stratigraphique du V 3C – Namurien probable (Série de Talgarat).

– Synthetic stratigraphic logs of the sedimentary sets of the Eastern part from the Hercynian Central Massif. A: stratigraphic log of Upper Visean (Tanwalt sequence); B: stratigraphic log of V3C-Namurian (Talgarat sequence).

PETROLOGIE

Les données pétrographiques et chimico-minéralogiques utilisées dans ce chapitre ont été obtenues à partir de treize échantillons considérés comme représentatifs des filons cartographiés. Des lames minces et des sections polies ont été observées au microscope pour déterminer les textures et les associations minéralogiques afin d'identifier les minéraux à analyser par la microsonde électronique (*Cameca*) aux Laboratoires de Porto (IGM) et de Toulouse (LM). Les analyses chimiques de roche totale ont été aussi réalisées dans ces deux laboratoires par FRX et/ou ICPMS.

Pétrographie et minéralogie

Les sills, de puissance centimétrique à métrique, sont des dolérites à texture microlitique porphyrique en bordure et des microgabbros à texture microgrenue porphyrique dans la partie médiane. La mésostase est constituée de plagioclases, de clinopyroxènes et d'oxydes de Fe-Ti. Les phénocristaux sont des plagioclases, des clinopyro-

xènes et des amphiboles brunes. Les sills décimétriques sont constitués d'une succession de faciès gabbroïques à texture ophitique à subophitique où les clinopyroxènes et les oxydes Fe-Ti sont englobés par les plagioclases et les hornblendes brunes. Ces roches enregistrent un métamorphisme de bas degré où les pyroxènes sont parfois transformés en calcite et chlorite et les plagioclases en albite, calcite et épidote.

Au sein des sills, le plagioclase est systématiquement transformé en albite. Les amphiboles, en faible concentration dans les sills de la série inférieure de Tanwalt ont des compositions de kersutites (LEAKE *et al.*, 1997) et des rapports Mg # constant (0,6). Cependant, celles de la série supérieure de Talgarat ont des compositions d'hornblende hastingsitique magnésienne (LEAKE *et al.*, 1997) et des rapports Mg # variant de 0,7 à 0,9. Les pyroxènes sont selon la classification MORIMOTO *et al.* (1988) des diopsides Wo 49-52 En 35-47 Fs 4-14 dans les sills de la série de Tanwalt et des augites Wo 45-49 En 43-48 Fs 5-7 dans les sills de la série de Talgarat. A la lecture des analyses des pyroxènes de l'ensemble des roches magmatiques de la région étudiée (Tab. I), on peut remarquer qu'elles présentent en particulier une diminution du Ca et de Ti depuis les roches interstratifiées dans la série de Tanwalt jusqu'aux roches de la série de Talgarat. Les rapports Ti *versus* Al^{IV} des clinopyroxènes montrent une évolution continue qui traduit une évolution géochimique depuis le domaine des pyroxènes alcalins jusqu'au domaine des pyroxènes subalcalins (KUSHIRO, 1960) (Fig. 3).

Géochimie de roche totale

Les roches magmatiques interstratifiées présentent un pourcentage en perte au feu (PF) relativement élevé (jusqu'à 9 %). Cependant, dans nos analyses, on constate qu'il n'y a pas de relation entre le pourcentage de la PF et un éventuel lessivage des éléments majeurs réputés mobiles. En plus le degré de métamorphisme, évalué par la cristallinité de l'illite, n'excède pas le faciès épizonal dans les formations paléozoïques (HUON *et al.*, 1987; BOUABDELLI, 1989). Les sills, même s'ils sont plissés, ne montrent aucune réorientation minérale ni de recristallisation orientée. En outre, les teneurs élevées en PF ont été signalées dans les roches magmatiques interstratifiées dans les séries du Carbonifère terminal de la Meseta marocaine (CHALOT-PRAT, 1990; AARAB, 1995; KHARBOUCH, 1994; REMMAL, 2000). Ces valeurs sont, dans bien des cas, attribuées à des teneurs originellement importantes en fluides magmatiques (CHALOT-PRAT, 1990). En l'absence d'analyses isotopiques pour déterminer avec certitude la nature de l'eau entraînant les fortes valeurs de la PF, nous nous sommes

TABLEAU I

Analyses représentatives des clinopyroxènes des roches basiques interstratifiées dans la série du Carbonifère terminal de la partie Est du Maroc Hercynien Central
Representative analyses of clinopyroxenes of basic rocks interbedded in the Upper Carboniferous sequence of the Eastern Hercynian Central Morocco

	Sills de l'ensemble 1 (Série de Tanwalt)															Sills de l'ensemble 2 (Série de Talgarat)		
	TW6 2 p1	TW6 2 p2	TW6 2 p	TW6 3 p c	TW6 3 pb	TW6 3 pc	TW6 3 p2	TW6 4 p1	TW6 4 p3	TW4 p1	TW4 p2	TW4 p3	TW4 p4	TW4 1 p1	TW4 1 p2	H3 1 p1	H3 1 p2	H3 1 p3
(%)																		
SiO ₂	49,99	48,52	49,77	49,60	46,23	45,01	46,11	46,79	44,35	46,93	46,86	46,83	47,39	48,09	50,81	50,86	52,83	52,23
TiO ₂	1,16	1,31	1,10	1,23	2,14	2,42	1,78	1,75	2,91	2,29	1,96	2,45	2,42	2,26	0,85	0,41	0,23	0,48
Al ₂ O ₃	3,26	3,57	3,33	3,25	6,16	6,65	5,77	5,23	7,65	5,36	4,70	6,11	5,91	5,67	2,11	2,61	1,93	1,86
Cr ₂ O ₃	0,34	0,23	0,35	0,40	0,18	0,01	0,48	0,10	0,07	0,02	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,02	0,13	0,03
Fe ₂ O ₃	2,90	5,54	3,34	3,66	4,30	6,10	4,91	5,10	4,42	4,72	4,80	4,27	3,51	3,14	2,85	3,26	1,80	1,80
FeO	2,81	0,77	2,57	2,55	2,80	2,12	1,88	1,62	3,20	3,34	3,39	3,59	4,53	4,69	8,32	4,27	3,58	4,25
MnO	0,14	0,06	0,02	0,13	0,04	0,11	0,11	0,11	0,13	0,16	0,11	0,12	0,13	0,08	0,40	0,23	0,20	0,14
MgO	15,29	15,34	15,21	15,50	13,16	12,65	13,47	13,95	12,26	13,02	12,98	12,85	12,76	13,29	11,63	14,52	16,93	16,58
CaO	23,07	23,14	23,32	22,73	22,78	22,93	23,00	23,33	22,65	23,19	22,73	23,02	23,09	22,78	22,85	23,12	22,02	21,91
Na ₂ O	0,23	0,30	0,20	0,21	0,37	0,40	0,28	0,23	0,31	0,38	0,44	0,45	0,40	0,41	0,60	0,25	0,26	0,19
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
TOTAL	99,19	98,77	99,21	99,26	98,16	98,41	97,79	98,19	97,96	99,42	97,96	99,68	100,20	100,43	100,42	99,55	99,90	99,46
F. Structurale (6 oxygènes)																		
Si	1,859	1,814	1,852	1,845	1,751	1,709	1,753	1,768	1,692	1,763	1,786	1,753	1,767	1,784	1,911	1,894	1,935	1,928
Ti	0,032	0,037	0,031	0,034	0,061	0,069	0,051	0,050	0,084	0,065	0,056	0,069	0,068	0,063	0,024	0,011	0,006	0,013
Al/Al IV	0,141	0,157	0,146	0,143	0,249	0,291	0,247	0,232	0,308	0,237	0,211	0,247	0,233	0,216	0,089	0,106	0,065	0,072
Al VI	0,002	0,000	0,000	0,000	0,026	0,007	0,011	0,001	0,035	0,001	0,000	0,022	0,026	0,031	0,004	0,009	0,018	0,009
Cr	0,010	0,007	0,010	0,012	0,006	0,000	0,014	0,003	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,004	0,001
Fe ³⁺	0,081	0,156	0,094	0,103	0,122	0,174	0,140	0,145	0,127	0,134	0,138	0,120	0,099	0,088	0,081	0,091	0,050	0,050
Fe ²⁺	0,087	0,024	0,080	0,079	0,089	0,067	0,060	0,051	0,102	0,105	0,108	0,112	0,141	0,146	0,262	0,133	0,110	0,131
Mn ²⁺	0,004	0,002	0,001	0,004	0,001	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,013	0,007	0,006	0,004
Mg	0,847	0,855	0,843	0,860	0,743	0,716	0,763	0,786	0,697	0,729	0,737	0,717	0,709	0,735	0,652	0,806	0,924	0,912
Ca	0,919	0,927	0,929	0,906	0,925	0,933	0,937	0,945	0,926	0,934	0,928	0,923	0,922	0,905	0,921	0,923	0,864	0,866
Na	0,017	0,022	0,015	0,015	0,027	0,029	0,020	0,017	0,023	0,028	0,032	0,033	0,029	0,029	0,044	0,018	0,018	0,014
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wc(Ca)	49,584	51,334	50,160	49,102	52,652	54,354	53,240	53,029	53,678	52,814	52,343	52,669	52,036	50,697	50,192	49,557	45,531	45,374
En(Mg)	45,700	47,332	45,524	46,603	42,298	41,723	43,361	44,101	40,408	41,244	41,567	40,919	39,998	41,153	35,548	43,292	48,695	47,759
Fs(Fe ²⁺)	4,716	1,335	4,316	4,296	5,050	3,923	3,399	2,870	5,914	5,942	6,090	6,412	7,965	8,150	14,260	7,152	5,774	6,866
X _{Mg}	0,906	0,973	0,913	0,916	0,893	0,914	0,927	0,939	0,872	0,874	0,872	0,865	0,834	0,835	0,714	0,858	0,894	0,874

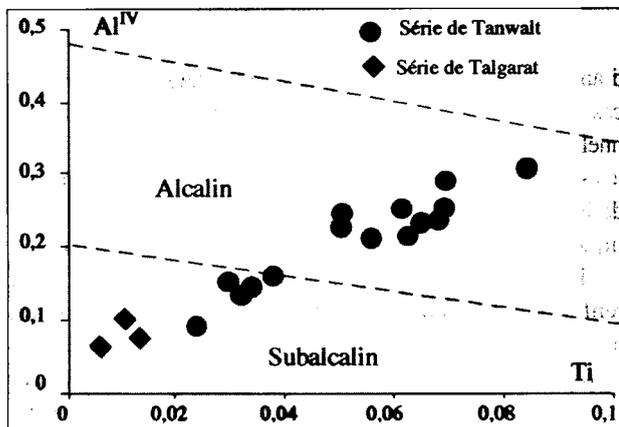


Fig. 3 – Diagramme Al^{IV} versus Ti pour les clinopyroxènes des sills basiques interstratifiés dans les formations du Carbonifère terminal de la partie Est du Maroc Hercynien Central (Champs d'après LETERRIER *et al.*, 1982). Rond: roches interstratifiées dans la série de Tanwalt; losange: celles interstratifiées dans la série de Talgarat.

– Diagramme Al^{IV} versus Ti of clinopyroxenes of basic dykes interbedded in the Upper Carboniferous formations of the Eastern part of the Hercynian Central Morocco (diagramme of LETERRIER *et al.*, 1982). Circle: rocks interbedded in the Tanwalt sequence; losange: rocks interbedded in the Talgarat sequence.

limités à l'utilisation des seuls éléments chimiques réputés peu ou pas mobiles comme par exemple le Zr, Nb, Th, Ti et La (WOOD *et al.*, 1979) afin de déterminer l'affinité magmatique de ces roches.

Sur la base de leur composition chimique (Tab. II et Fig. 4), les roches magmatiques de la partie Est du MHCM peuvent être divisées en deux ensembles magmatiques distincts qui correspondent aux sills interstratifiés respectivement dans la série du Viséen supérieur de Tanwalt et celle du V3c-Namurien de Talgarat.

Le premier ensemble, que l'on peut nommer série de Tanwalt, englobe des roches qui présentent des teneurs en SiO₂ comprises entre 42,46 % et 49,46 % et des teneurs relativement faibles en Al₂O₃ (9,43-16,91 %). Ces roches sont caractérisées par des rapports élevés respectivement en Nb/Y (> 1) et en Th/Yb (2-3) et des rapports élevés en Zr/Y (6-11) et en Nb/Yb (29-44). Leurs spectres multi-éléments normalisés au manteau primitif (normalisation de SUN & MC DONOUGH, 1989) montrent un enrichissement modéré en éléments LILE et en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes (La/Yb = 14-23). Ils sont également marqués par des anomalies négatives en K₂O et P₂O₅ et par l'absence

TABLEAU II

Analyses géochimiques des éléments majeurs et traces de roches totales des sills interstratifiés dans la série du Carbonifère supérieur de la partie Est du Maroc Hercynien Central (Zone de Mrirt-Zyar-Zrahina)
Representative geochemic analyses of major and trace elements of dykes interbedded in the Upper Carboniferous sequences of the Eastern Hercynian Central Morocco (Mrirt-Zyar-Zrahina region)

ENSEMBLE BASIQUE 1 (Série de Tanwalt)										ENSEMBLE BASIQUE 2 (Série de Talgarat)												
Sample	AB	SM	TW6	TW3	NTB	KH3	B61*	B62*	NTT3	T-3	F62*	NTH3	NTBZ	B3*	Z64**	Z65**	Z66**	Z67**	AF	TZ-2	F61*	
(%)																						
SiO ₂	49,46	42,24	45,75	42,42	42,56	43,32	42,86	49,30	42,36	43,41	49,88	46,24	54,38	50,04	47,90	53,00	54,20	56,20	48,98	49,97	45,23	
Al ₂ O ₃	12,10	10,71	15,15	14,00	13,82	15,55	13,58	16,91	9,43	12,72	17,85	12,58	16,06	15,39	16,30	17,10	18,50	17,10	16,27	13,45	14,16	
Fe ₂ O ₃	10,94	12,92	11,76	13,25	11,29	13,26	16,84	10,51	11,91	11,20	6,39	7,63	7,10	8,09	8,92	9,94	8,50	7,36	7,94	10,26	14,93	
MnO	0,13	0,11	0,16	0,17	0,14	0,17	0,16	0,12	0,13	0,15	0,11	0,10	0,11	0,11	0,15	0,31	0,34	0,28	0,13	0,33	0,13	
MgO	7,02	13,30	6,17	6,61	7,46	4,17	4,27	2,94	17,86	7,16	3,72	9,82	3,36	4,10	7,73	5,63	4,28	3,65	4,80	11,50	7,54	
CaO	6,31	7,67	8,84	9,80	8,54	6,88	7,56	4,87	5,78	10,17	6,80	10,91	5,62	6,45	4,09	1,73	0,81	2,94	6,00	4,95	8,16	
Na ₂ O	4,79	0,97	4,10	3,11	4,25	4,28	3,31	6,33	0,82	3,48	4,65	2,53	3,71	5,22	4,80	2,73	5,19	5,39	5,23	1,08	3,10	
K ₂ O	0,37	0,12	0,67	0,58	0,15	0,22	0,16	0,18	0,12	0,37	1,23	2,22	1,31	0,46	0,18	3,13	1,69	0,99	0,45	1,85	0,10	
TiO ₂	2,05	1,77	2,59	2,83	2,25	3,24	3,56	1,76	1,69	2,53	0,98	1,18	1,02	0,88	1,12	1,19	1,29	1,00	1,19	0,90	1,15	
P ₂ O ₅	0,17	0,38	0,40	0,32	0,31	0,44	0,31	0,48	0,34	0,50	0,27	0,42	0,26	0,27	0,15	0,43	0,20	0,19	0,15	0,34	0,24	
LOI	5,78	9,98	4,34	7,01	8,48	8,45	6,50	6,57	9,49	7,86	8,17	6,41	6,94	8,19	7,70	4,08	4,16	3,85	8,46	5,23	5,30	
total	99,12	100,07	99,93	100,01	99,25	99,98	99,11	99,97	99,93	99,55	100,05	100,04	99,87	99,20	99,04	99,27	99,16	98,95	99,60	99,86	100,04	
(ppm)																						
Rb		5,03		9,34	2,62	5,05	7	6	51	5	38	16,7	23,2	18					18	41	7	
Sr	328		493	204	620	228	167	247	770		881	1153	302	358					719	378	874	
Y	11,8		12	15,2	20	18	30	15	17		16	9,51	17,1	15					22	16	18	
Zr	115		136	97,5	217	162	320	147	168		171	115	178	164					140	172	165	
Nb	33		34,9	25,4	44,3	43	110	46	50		8	7,01	7,03	6					7	9	9	
Ba	117		161	78,1	852	124	137	250	564		514	1832	290	79					936	1963	184	
Th	2,04		2,41	1,4	3,42	2,8	7,8	3	4		12	6,36	4,59	12					4	11	6,2	
U	0,66		0,86	0,6	1,16	0,9	0				5,8	2,12	1,58	4,2							2,6	
La	17,4		19,3	11,7	26,1	22	46				38	37,9	17,4	47							25	
Ce	37		39,7	24,2	57,5	46	100				93	89,6	38,8	109							56	
Sm	4,2		4,59	3,3	6,04	4,8	8,1				9,6	7,04	3,73	6,2							4,7	
Eu	1,33		1,47	0,97	1,83	1,4	2,5				1,8	1,91	1,04	2,1							1,5	
Tb	0,5		0,52	0,45	0,77	0,69	1,1				0,57	0,43	0,53	0,46							0,67	
Yb	0,75		0,86	0,84	1,33	1,2	2,5				1,8	0,7	1,7	1,1							1,8	
Lu	0,1		0,12	0,13	0,21	0,15	0,34				0,29	0,1	0,25	0,13							0,23	
Nb/Y	2,82		2,86	1,67	2,22	2,39	3,67	3,07	2,94		0,50	0,74	0,41	0,40					0,32	0,56	0,50	
La/Th	9		8	8	8	8	6				5	6	4	4							4	
Zr/Y	10		11	6	11	9	11	10	10		11	12	10	11					6	11	9	
La/Yb	23		22	14	17	18	18				32	54	10	43							14	

(* - Analyses d'ATT EL AMRI, 1996; ** - d'IBN MAJJA, 1991)

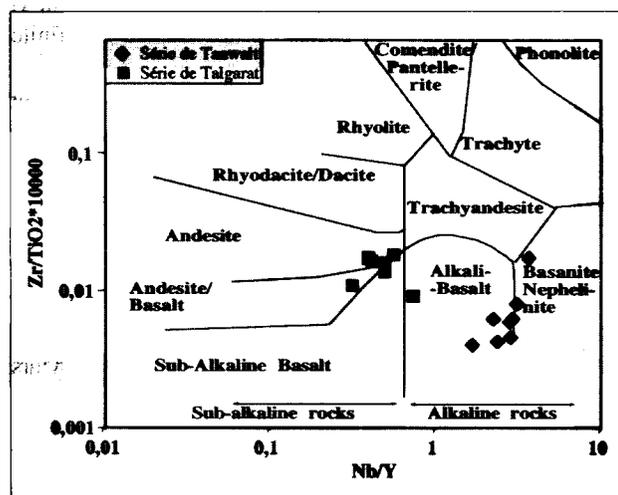


Fig. 4 - Projection Zr/TiO_2 des analyses chimiques des roches étudiées dans le diagramme de classification géochimique des roches volcaniques proposé par WINCHESTER & FLOYD (1977).

- Zr/TiO_2 projection of the chemical analyses of the studied rocks on the WINCHESTER & FLOYD (1977) classification diagram for the volcanic rocks.

d'anomalies négatives en Nb et Ti (Fig. 5A). L'ensemble de ces caractéristiques suggère une affinité alcaline-transitionnelle. En outre, les anomalies en K_2O et P_2O_5 relevées dans les spectres de normalisation, associeraient plutôt les roches de la série magmatique de Tanwalt à des roches magmatiques de marges actives (au sein de WILSON (1994)).

Le deuxième ensemble, attribué à la série de Talgarat, renferme des roches légèrement différenciées montrant des teneurs en SiO_2 comprises entre 46,24 % et 56,2 %. Elles sont relativement riches en Al_2O_3 (12,58-18,5 %) par rapport à celles de Tanwalt. Cette augmentation en aluminium semble être justifiée dans ces roches par l'augmentation du pourcentage modal des amphiboles. Elles sont caractérisées par des rapports faibles en Nb/Y (< 1) et en Th/Yb (3-11) et des rapports plus faibles en Nb/Yb (4-10). Cependant, le rapport en Zr/Y (6-12) des roches de Talgarat est identique à celui des roches du premier ensemble. Les spectres multi-éléments des roches de la série de Talgarat sont plus enrichies en éléments incompatibles LILE et en terres rares légères ($La/Yb =$

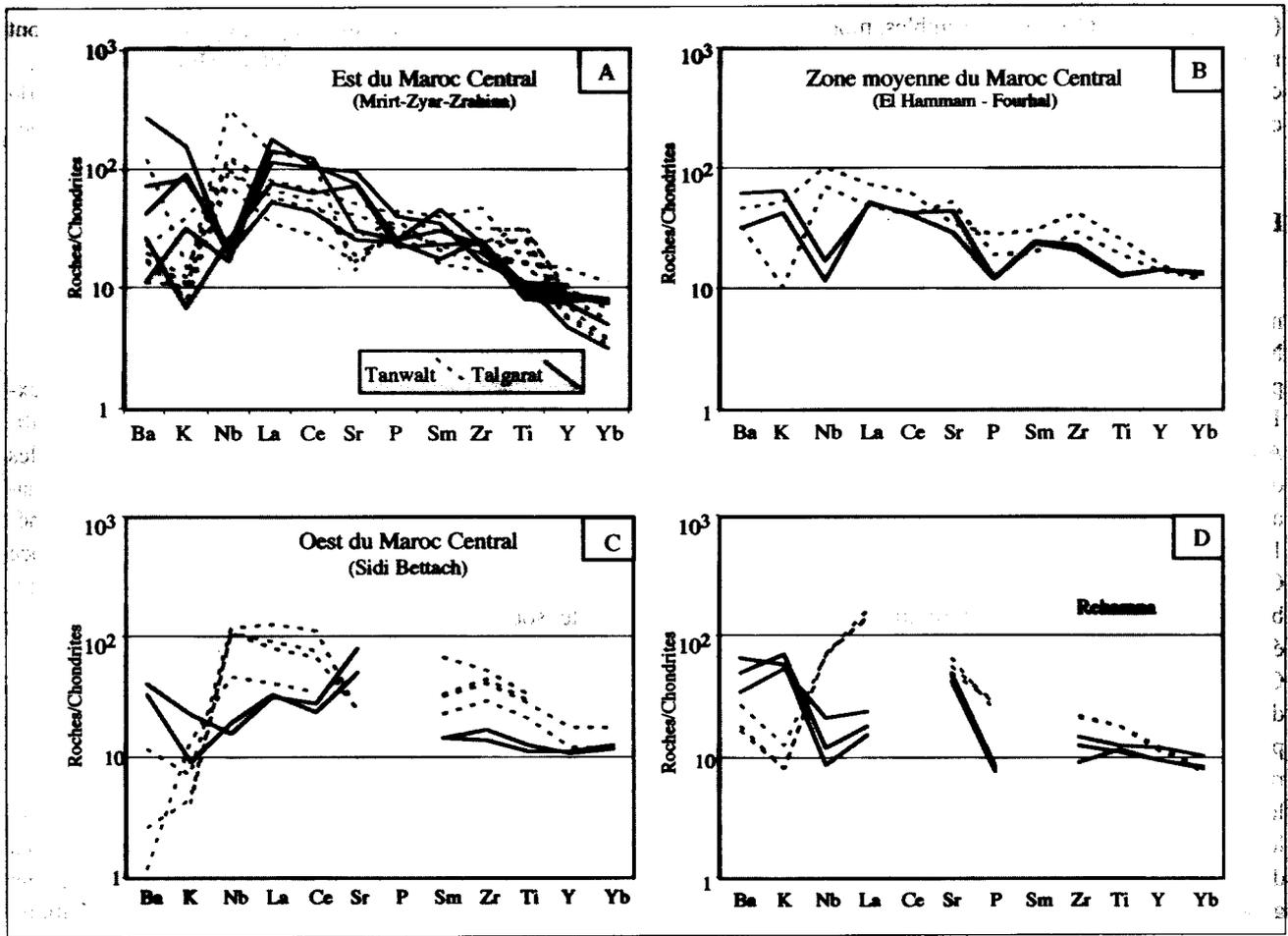


Fig. 5 – Diagramme élargi des roches basiques normalisées au chondrites, à l'exception du K et P (THOMPSON *et al.*, 1984), montrant l'existence de deux ensembles magmatiques correspondants dans toute la Meseta marocaine.

A: Partie Est du MHCM (région de Mrirt-Zyar-Zrahina); B: Secteur de Fourhal-El Hammam; C: Bassin de Sidi Bettach; D: Région de Rehamna.

– Basic rocks normalised to the chondrite, with the exception of K and P (THOMPSON *et al.*, 1984) showing the existence of two equivalents magmatic sequences in the whole Moroccan Meseta.

A: Eastern part of the MHCM (Mrirt-Zyar-Zrahina region); B: Fourhal-El Hammam region; C: Sidi Bettach basin; D: Rehamna region.

10-54). Ils sont également caractérisés par des anomalies négatives en Nb, TiO_2 , P_2O_5 et K_2O (Fig. 5A) et rapports faibles en La/Th (4-6). Ces caractéristiques indiquent une nature calco-alcaline comparable à celles des roches associées aux zones de subduction.

Dans ces spectres l'anomalie négative en K, marquée presque systématiquement, semble présenter une caractéristique liée aux sources de ces magmas et traduire, soit la présence de phases résiduelles riches en cet élément, tel que la phlogopite et ou l'amphibole, soit au caractère appauvri en ces éléments des sources mantelliques. Les spectres des deux ensembles magmatiques sont comparables, suggérant une origine à partir d'une même source ou bien de source à caractères similaires, sauf pour les faibles teneurs en Nb et Ti.

Toutefois, l'évolution géochimique du premier stade (série de Tanwalt) au deuxième (série de Talgarat) à partir d'une même source pourrait s'expliquer par le fractionnement précoce des oxydes complexes porteurs du titane et du niobium avant la mise en place des roches de la série de Talgarat.

Ainsi, l'étude de la partie Est du MHCM révèle l'existence de deux ensembles magmatiques interstratifiés dans la série du Carbonifère terminal. Le premier ensemble magmatique englobe des roches basiques à caractère transitionnel préférentiellement représentées dans les sills interstratifiés dans la série du Viséen Supérieur tandis que le deuxième ensemble, refermant des roches à caractère franchement calco-alcalin, est largement représenté par des sills interstratifiés dans la série sus-jacente

(V3c-Namurien). Ces deux ensembles, montrant d'étroites relations pétrographiques, présentent des similitudes géochimiques avec celles des séries magmatiques des zones de marges actives.

DISCUSSION ET CONCLUSION

A l'échelle de la Meseta marocaine, les témoins magmatiques du Carbonifère terminal (Viséen supérieur-Namurien) sont représentés dans la Meseta occidentale par des pillows lavas et des sills basiques (KHARBOUCH, 1994; AARAB, 1995; REMMAL, 2000; RODDAZ, 2000; BEN ABBOU, 2001; BEN ABBOU *et al.*, 2002) et dans la Meseta orientale par un volcanisme à caractère explosif souvent andésitique à dacitique (CHALOT-PRAT, 1990; KHARBOUCH, 1994). Il apparaît donc que les roches magmatiques du Carbonifère terminal ont été reconnues à de très nombreux endroits de la chaîne hercynienne et qu'elles ont été étudiées depuis longtemps par de nombreux auteurs. Cependant ces études n'aboutissent pas à un consensus dans l'interprétation de ce magmatisme et de nombreux points restent encore controversés. A travers les caractéristiques minéralogiques et géochimiques de ces roches, les auteurs arrivent parfois à des interprétations diamétralement opposées. De même les processus de genèse et d'évolution de ces roches sont rattachés à des contextes géodynamiques très différents.

Dans la Meseta occidentale, les roches magmatiques du Carbonifère terminal sont selon KHARBOUCH (1994), AARAB (1994) et REMMAL (2000) géochimiquement comparables aux séries tholéitiques intraplaques mais RODDAZ (2000) et RODDAZ *et al.* (2002) montrent que le magmatisme interstratifié dans les séries namuriennes est de type calco-alcalin et que sa mise en place est synchrone à la formation de bassin d'avant pays.

Dans la Meseta orientale, la signature géochimique des roches volcaniques viséo-namuriennes est compatible avec celle des roches des zones de marges actives (CHALOT-PRAT, 1990; KHARBOUCH, 1994). Par ailleurs, CHALOT-PRAT (1990) signale que l'activité volcanique débute dans cette zone par des roches basiques à caractère alcalin à transitionnel où la source mantellique est légèrement affectée par le processus d'une subduction antérieure ou contemporaine.

Ces résultats prouveraient, à notre avis, l'existence de deux ensembles magmatiques dans tout le Carbonifère supérieur de la Meseta marocaine. En effet, à partir des données bibliographiques des auteurs précédents sur les autres secteurs de la Meseta marocaine nous avons réalisé des spectres normalisés, qui, quoique incomplets, mettent en évidence l'existence systématique de deux ensembles

magmatiques dont les signatures évoquent ceux qui ont été identifiés dans le secteur d'étude (Fig. 5B, C et D).

Les roches magmatiques interstratifiées dans la série Tanwalt définies dans ce travail seraient l'équivalent des roches à caractère transitionnel intraplaque de la Meseta occidentale (KHARBOUCH, 1994) et des roches alcalines à transitionnelles de la Mesta orientale (CHALOT-PRAT, 1990) tandis que, les roches du deuxième ensemble s'apparentent plutôt aux roches interstratifiées dans les séries du Namurien de la Meseta occidentale et aux dacites et andésites de la Meseta orientale.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer les relations entre les deux ensembles magmatiques du Carbonifère de la Meseta marocaine. Ainsi, les similitudes chimiques entre les deux ensembles magmatiques suggèrent une source mantellique équivalent, métasomatisée, qui serait traduite par la présence précoce des amphiboles dans les roches de la série de Tanwalt. Cette source aurait subi une fusion partielle, tout en préservant, en phases résiduelles, la phlogopite. Cette caractéristique géochimique est traduite par l'anomalie négative très prononcée en K dans les spectres du premier ensemble (Fig. 5A). Le deuxième ensemble montre une anomalie négative très prononcée en Nb et des anomalies semblables, moins prononcées, en P et Ti et un enrichissement, variable, en éléments LILE. Pour expliquer ces caractéristiques, il est possible d'envisager une deuxième fusion partielle à partir de la même source magmatique après une forte hydratation, comme en témoigne l'augmentation du pourcentage volumétrique des amphiboles dans les roches de cet ensemble. L'hydratation ferait augmenter la fugacité d'oxygène qui favoriserait la précipitation des minéraux susceptibles de fractionner le Fe, Ti et Nb tel que les oxydes complexes ferro-titanés. Dans ce deuxième ensemble, il est possible d'envisager également une participation crustale qui entraînerait l'enrichissement de ces roches en éléments LILE.

Cependant, les plus faibles teneurs en Y et terres rares lourdes visibles dans les deux ensembles magmatiques de la région étudiée peuvent indiquer un approfondissement de leur source, par rapport aux des autres, qu'on doit avoir en compte dans les modèles géodynamiques.

L'évolution géodynamique de la Meseta marocaine au Carbonifère terminal est liée à un contexte généralement transtensif (LAGARDE, 1987, 1989; BOUABDELLI, 1989; TAHIRI, 1991; YOUNI, 1998) ou compressif (BOUABDELLI, 1989; BOUABDELLI & PIQUE, 1996; BEN ABBOU *et al.*, 2001; BEN ABBOU, 2001).

Les modèles proposés pour expliquer la géodynamique de l'orogénèse hercynienne marocaine conçoivent soit à une subduction continent-continent (LAGARD, 1987,

REFERENCES

1989; CHALOT-PRAT, 1990; KHARBOUCH, 1994) soit à une subduction continentale généralement fossile (KHARBOUCH *et al.*, 1985; BOULIN *et al.*, 1988; YOUBI, 1988; BEN ABBOU, 2001).

PIQUE *et al.* (1993) supposent en outre, au Carbonifère supérieur, l'extrusion de la Meseta orientale sous l'effet du sous-plaquage d'une croûte continentale des cotés de la Meseta occidentale et de l'Anti-Atlas. Il reste toutefois difficile d'expliquer dans ce modèle, la signature géochimique des magmas basiques. En effet, la forte hydratation de la source mantellique, matérialisée par la présence des amphiboles en grande abondance dans les roches du deuxième ensemble ne pourra s'expliquer que si l'on imagine dans ce modèle l'intervention d'un morceau de croûte océanique soit varisque soit plus ancienne. Le deuxième ensemble devrait également résulter de la fusion partielle d'un manteau métasomaté par les fluides issus de la déshydratation de ces panneaux de croûte océanique. Ce qui n'est pas le cas dans ce modèle, le sous-plaquage étant intracontinental.

Le modèle le plus récent (BEN ABBOU, 2001; RODDAZ *et al.*, 2002) considère que l'évolution géodynamique de la Meseta marocaine est liée à un contexte de bassins compressifs en relation avec une subduction continentale dont la suture est située probablement à plus de 500 km à l'est. Les roches basiques de notre secteur montrent une évolution magmatique et une signature géochimique compatible avec l'évolution tectono-sédimentaire qui caractérise le bassin d'Azrou-Khénifra comme un bassin en compression s'intégrant dans le système de bassins d'avant-pays carbonifères du domaine mesetien, déterminé par des séquences de chevauchements se propageant vers le NW dans un contexte rétro-lithosphérique (BEN ABBOU, 2001).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Messieurs Pierre Debat et N. Youbi pour ses critiques constructives et Messieurs Joe Déramaond Didier Beziat et Michel Valadon ainsi que tous les membres des laboratoires de la dynamique des bassins sédimentaires et de Minéralogie de Toulouse pour leur aide dans la discussion et l'élaboration des analyses à la microsonde et roches totales.

Les auteurs remercient également les membres du laboratoire de Porto pour la réalisation des analyses chimiques de roches totales.

Enfin nos remerciements à Monsieur Asserraji Houssine pour son aide dans la traduction du texte en anglais.

- AARAB, M. (1995) – *Genèse et différenciation d'un magma tholéïtique en domaine extensif intracontinental: Exemple du magmatisme pré-orogénique des Jbilets (Maroc hercynien)*. Thèse ès sci., Univ. Cadi Ayad, Marrakech, 253 p.
- AGARD, J.; BALCON J. & MORI, PH. (1958) – Etude géologique et métallogénique de la région déminéralisée de l'Aouam (Maroc Central). *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, 12, 125, pp. 15-28.
- AÏT EL AMRI, A. (1996) – *Le complexe magmatique de Zyar (Maroc Central Oriental): cartographie, pétrographie, géochimie et signification géodynamique*. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Mohammed V, Rabat, 187 p.
- BEN ABBOU, M. (2001) – *Dynamique des bassins d'avant-pays carbonifères: signatures tectoniques, sédimentaires et magmatiques de l'évolution de la chaîne hercynienne du Maroc Central septentrional. Implication sur le modèle géodynamique de la chaîne hercynienne*. Thèse ès sci., Univ. Cadi Ayad, Marrakech, 313 p.
- BEN ABBOU, M.; SOULA, J. C.; BRUSSET, S.; RODDAZ, M.; NTARMOUCHANT, A.; DRIOUCH, Y.; CHRISTOPHOUL, F.; BOUABDELLI, M.; MAJESTE-MENJOULAS, C.; BEZIAT, D.; DEBAT, P. & DERAMOND, J. (2001) – Contrôle tectonique de la sédimentation dans le système de bassin d'avant-pays de la Meseta marocaine. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, Vol. 332, 11, pp. 703-709.
- BOUABDELLI, M. (1989) – *Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique: le sillon d'Azrou-Khénifra (Est du Massif Hercynien Central du Maroc)*. Thèse ès sci., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 262 p.
- BOUABDELLI, M. & PIQUE, A. (1996) – Du bassin sur décrochement au bassin d'avant-pays: Dynamique du Bassin d'Azrou-Khénifra (Maroc Hercynien Central). *Journal of African Earth Sciences*, 23, 2, Saint Andrewes, pp. 213-223.
- BOULIN, J.; BOUABDELLI, M. & HOUICHA, M. (1988) – Evolution paléogéographique et géodynamique de la chaîne paléozoïque du Moyen Maroc: un essai de modélisation. *C. R. Acad. Sci.*, 306, 2, Paris, pp. 1501-1506.
- CADET, J.-P.; POUCKET, A. & CAMBRAY (1990) – Les cendres volcaniques sous marines du Pacifique oriental, enregistrement du volcanisme explosif de l'Amérique central (Large du Mexique et du Guatemala: Legs 66, 67, et 84 du Deep Sea Drilling Project), *Bull. Soc. Géol. France*, 6 (1), pp. 37-47.
- CHALOT-PRAT, F. (1990) – *Pétrogenèse d'un volcanisme intracontinental tardi-orogénique hercynien: étude du complexe volcanique carbonifère du Tazekka et de zones volcaniques comparables dans le Mekam et la région de Jerada (Maroc Oriental)*. Thèse, Univ., VI, Paris, 271 p.
- (1995) – Genesis of rhyolitic ignimbrites and lavas from distinct sources at a deep crustal level: field, petrographic, chemical and isotopic (Sr, Nd) constraints in the Tazekka volcanic complex (Eastern Morocco). *Lithos*, 36, pp. 29-49.
- FAÏK, F. (1988) – *Le paléozoïque de la région de Mrirt (Est du Maroc Central). Evolution stratigraphique et structurale*. Thèse de 3^{ème} Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 233 p.

- HOEPPFNER, C. (1987) – *La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc*. Thèse ès sci., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 276 p.
- HUON, S.; PIQUE, A. & CLAUER, N. (1987) – Etude de l'orogénèse hercynienne au Maroc par datation K-Ar de l'évolution métamorphique des schistes ardoisiers. *Sci. Géol.*, **40**, pp. 273-284.
- IBN MAJAH, K. (1991) – *Contribution à l'étude du magmatisme de la zone à minéralisation filonienne F-Ba-Pb-Ag-Cu-Zn de Zrahina Champs miniers de Kef-N-Sour (Maroc Central Oriental). Pétrologie, Géochimie, Pétrologie structurale et Métallogénie*. Thèse 3ème cycle, Univ. Mohammed V, Rabat, 281 p.
- KHARBOUCH, F.; JUTEAU, T.; TREUIL, M.; JORON, J. L.; PIQUE, A. & HOEPPFNER, C. (1985) – Le volcanisme de la méséta marocaine nord occidentale et orientale. Caractères pétrographiques et géochimiques et implications géodynamiques. *Sc. Géol. Bull.*, **38**, 2, Strasbourg, pp. 115-163.
- KHARBOUCH, F. (1994) – *Les laves dévono-dinantiennes de la Meseta marocaine: étude pétro-géochimique et implication géodynamique*. Thèse ès sci., Univ. De Bretagne occidentale, Brest, 366 p.
- KUSHIRO, I. (1960) – Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *Am. J. Sci.*, pp. 548-554.
- LAGARDE, J. L. (1987-1989) – *Les plutons granitiques hercyniens marqueurs de la déformation crustale. L'exemple de la Meseta marocaine*. Thèse d'Etat Sci. Univ. Rennes, France, 371 p.; *Mém. Et Doc. Du C. A. E. S. S.*, **26**, 342 p.
- LEAKE, B. E. (1997) – Nomenclature of amphiboles. *Eur. J. Min.*, **9**, pp. 623-651.
- LEAKE, B. E.; ALAN, R.; BIRCH, W. D.; GILBERT, M. C.; GRICE, J. D.; HAWTHORNE, F. C.; KATO, A.; KISCH, H. J.; KRIVOVICHEV, V. G.; LINTHOUT, K. & LAIRD, J. (1997) – Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Miner. Magazine*, **V. 61**, pp. 295-321.
- LETERRIER, J.; MAURY, R.-C.; THONON, P.; GIRARD, D. & MARCHAL, M. (1982) – Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, pp. 139-154.
- MORIMOTO, N.; FABRIES, J.; FERGUSON, A.-K.; GINZBURG, I.-V.; ROS, M.; SEIFERT, F.-A.; ZUSSMAN, J. & AOKI, K. (1988) – Nomenclature of pyroxenes, *Bull. Mineral.*, **111**, pp. 535-550.
- NTARMOUCHANT (1991) – *Le Magmatisme Hercynien de la région de Mrirt (Est du Massif Central Marocain): cartographie, pétrographie, géochimie et contexte géodynamique*. Thèse de 3ème cycle, Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, 169 p.
- PIQUE, A. (1979) – *Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne: La Meseta marocaine Nord-occidentale*. Thèse ès sciences, Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- (1983) – Structural domains of the hercynian belt in Morocco. In: P. E. Schenk (ed.), regional trends in the geology of the Appalachian-Caledonian-Hercynian-Mauritanide Orogen. Reidel Publ. Comp., pp. 339-345.
- PIQUE, A. & KHARBOUCH, F. (1983) – Distension intracontinentale et volcanisme associé. La Meseta marocaine Nord-occidentale au Dévono-Dinantien. *Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, **7**, 1, pp. 377-387.
- PIQUE, A. & MICHARD, A. (1981) – Les zones structurales du Maroc hercynien. *Sci. Géol. Bull. Strasbourg*, **34**, 2, pp. 135-146.
- (1989) – Moroccan Hercynides: a synopsis. The paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the Northern margin of West Africa. *Am. Jour. Sci.*, Vol. **289**, pp. 286-330.
- PIQUÉ, A.; BOSSIÈRE, G.; BOUILLIN, J. P.; CHALOUAN, A. & HOEPPFNER, C. (1993) – Southern margin of the variscan belt: the north-western Gondwana mobile zone (eastern Morocco and northern Algeria). *Geologische Rundschau*, **82**, pp. 432-439.
- REMMAL, T. (2000) – *L'évolution tectono-magmatique intracontinentale du cycle hercynien. Etude du complexe magmatique du district d'El Hammam et de zone comparable pour le magmatisme pré-orogénique dans le Massif central et les Rehanna (Meseta occidentale marocaine)*. Thèse ès sci., Univ. Hassan II-Aïn Choc Casablanca, 267 p.
- RODDAZ, M. (2000) – Magmatisme de bassin d'avant-pays: exemple du magmatisme hercynien de la Meseta occidentale (Maroc). *Mémoire DEA*, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 57 p.
- RODDAZ, M.; BRUSSET, S.; SOULA, J.-C.; DEBAT, P.; BEN ABBOU, M.; BEZIAT, D.; DRIOUCH, Y.; CHRISTOPHOUL, F.; NTARMOUCHANT, A. & DERAMOND, J. (2002) – Forland basin magmatism in the Western Moroccan Meseta and geodynamic inferences. *Tectonics* (sous presse).
- SUN, S. S. & Mc DOUNOUGH, W. F. (1989) – Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D.; Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in the oceanic basins*, *Geol. Soc. Publ. London* **42**, pp. 313-345.
- TAHIRI, A. (1991) – *Le Maroc Central septentrional: stratigraphie, sédimentologie et tectonique du paleozoïque; un exemple de passage des zones internes aux zones externes de la chaîne hercynien du Maroc*. Thèse ès Sci., Univ. de Bretagne occidentale, Brest, 215 p.
- THOMPSON, R. N.; MORRISON, M. A.; HENDRY, G. L. & PARRY, S. Y. (1994) – An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis. *Phil. Trans. R. Soc. London*, **A 310**, pp. 549-90.
- YOUBI, N. (1998) – *Le volcanisme "post-collisionnel": un magmatisme intraplaque relié à des panaches mantelliques. Etude volcanologique et géochimique. Exemples d'application dans le Néoprotérozoïque terminal de l'Anti-Atlas et le Permien du Maroc*. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sci., Univ. Cadi Ayyad, Fac. des Sciences-Semlalia, 600 p.
- WILSON, M. (1994) – *Igneous petrology – a global tectonic approach*. Chapman & Hall, Londres, 466 p.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1977) – Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**, pp. 325-343.
- WOOD, D.-A.; JORON, J.-L. & TREUIL, M. (1979) – A reappraisal of the use trace element to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **45**, pp. 32-63.