

Géomatériaux (Pétrologie)

Un exemple de volcanisme calco-alkalin de type orogénique mis en place en contexte de *rifting* (Cambrien de l'oued Rhebar, Meseta occidentale, Maroc)

Hassan El Hadi^a, Abdelfatah Tahiri^{b,*}, Fernando Simancas Cabrera^c,
Francisco González Lodeiro^c, Antonio Azor Pérez^c, David Jesús Martínez Poyatos^c

^a *Faculté des sciences Ben Msik–Sidi Othmane, BP 7955, Casablanca, Maroc*

^b *Institut scientifique, BP 703, Rabat-Agdal, Maroc*

^c *Departamento de Geodinamica, Universidad de Granada, Avenida Fuentenueva s/n, 18071 Granada, Espagne*

Reçu le 10 mai 2004 ; accepté après révision le 12 décembre 2005

Disponible sur Internet le 24 mars 2006

Présenté par Jean Dercourt

Résumé

Le complexe volcanique Cambrien moyen de l'oued Rhebar (Meseta occidentale, Maroc) est formé de roches volcaniques de composition calco-alkaline, comparable à celle des roches générées dans les contextes orogéniques. Les rapports La/Nb, relativement élevés (5,2), attestent une participation lithosphérique. Les rapports La/Ta, supérieurs à 26, et l'anomalie négative en Nb suggèrent une source lithosphérique contaminée par la croûte continentale. Ces roches générées dans le rift Cambrien moyen mésétien auraient hérité leur signature orogénique de la fusion partielle d'un manteau antérieurement métasomaté. **Pour citer cet article : H. El Hadi et al., C. R. Geoscience 338 (2006).**

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

Abstract

An example of calc-alkaline, orogenic-type volcanism emplaced in a rift setting (Cambrian of Oued Rhebar, western Meseta, Morocco). The Middle Cambrian calc-alkaline Oued Rhebar volcanic complex (western Meseta, Morocco) compares with rocks originated in orogenic contexts. The La/Nb ratios are relatively high (5.2), suggesting a lithospheric mantle origin. The La/Ta ratios, higher than 26, and the negative Nb anomaly indicate a lithospheric source contaminated by the continental crust. These rocks were generated in the Mesetian Mid-Cambrian rift and would have inherited their orogenic signature from the partial melting of a previously metasomatized mantle. **To cite this article: H. El Hadi et al., C. R. Geoscience 338 (2006).**

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

Mots-clés : Volcanisme calco-alkalin ; Cambrien moyen ; Oued Rhebar ; Meseta occidentale ; Maroc

Keywords : Calc-alkaline volcanism; Middle Cambrian; Oued Rhebar; Western Meseta; Morocco

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : hassan_el_hadi@yahoo.com (H. El Hadi), tahiri@israbat.ac.ma (A. Tahiri), simancas@ugr.es (F. Simancas Cabrera).

Abridged English version

1. Introduction

In the northwestern part of the Hercynian Moroccan Meseta (Fig. 1), a volcanic complex is interbedded within the Middle Cambrian ('Acadian') 'Schistes à paroxydes' series [6,18]. The volcanic series includes andesites, trachyandesites, cinerites, pyroclastic tuffs, breccia and pillow lavas [6,24,34]. The volcanic centre was located in the Oued Rhebar structural horst [6, 18]. Fourteen geochemical analyses of major elements carried out on these extrusive rocks had made it possible to suggest (in spite of a loss of ignition going up to 12%) a calc-alkaline tendency [6,8,34]. New (12) major, trace and rare-earth element analyses (Table 1) make it possible to better characterize the magmatic affinity, nature and origin of the Oued Rhebar magma. Chemical analyses of the studied rocks (R1 to R18) were carried out at the Granada University (Spain). The major elements were performed by X-Ray fluorescence and the trace elements by ICP-MS (Table 1).

2. Geological setting

In the Northeast of the Oued Rhebar Volcanic Complex (CVOR), a Middle Cambrian fauna has been described within the 'Schistes à paroxydes' formation [6,18]. This formation consists of upward-coursing shallow marine deposits (ending with the El Hank Quartzite) [6], showing the effect of tractive currents. Detrital feldspars abound in relation with the coeval volcanism.

The CVOR trends NE–SW and, to the east and the west, is bordered by a chaotic formation (Fig. 1) containing quartzitic and metapelitic blocks in a greywacke matrix. This setting supports a Mid-Cambrian age for the CVOR rather than a Neoproterozoic age, as recently proposed [8].

The sedimentary figures, chaotic sediments and coeval, sub-aerial volcanism suggest a shallow water deposition. Thus, the Oued Rhebar volcanics would be related to a northeast-trending (present-day coordinates) palaeogeographic horst in a subsiding rift setting. This structure is considered to be the northern termination of the western Meseta Mid-Cambrian graben [2].

During the Early Cambrian, a rifting event would have begun in the Anti-Atlas ending in western Meseta during Middle–Late Cambrian [2,22,24–27]. Middle-Cambrian volcanism is known at Sidi Said Maachou (200 km south of Rabat) [11], where it shows a within-plate alkaline nature [20], at Bou Acila (Khénifra) in

the southeastern part of central Morocco [21,22], and at Oued Rhebar (this work).

In the Oued Rhebar area, the Hercynian deformation is related to the northeast-trending El Haj Thami shear zone [1,5,16,34] (Fig. 1), a tectonic line inherited from the Mid-Cambrian rifting [2,24–27]. The chaotic formations are dilacerated (especially in the western boundary of the horst) within the northeast-trending regional cleavage. Volcanic rocks (andesites and trachyandesites) and coarse pyroclastic materials do not display any cleavage, whereas the greywackes and tuffs are often strongly foliated [5,16,34].

3. Petrography and geochemistry

In spite of the alteration processes that primarily affect the major elements, the original textures and minerals are usually preserved. Extrusive rocks display a microclitic and porphyritic texture (vitreous, fluidal, vacuolar) and include a mineral paragenesis made up of plagioclase, sanidine, quartz, brown amphibole, biotite, clinopyroxene relics, iron oxides, chlorite and calcite.

Plagioclase occurs as phenocrysts and microphe-nocrysts displaying an oscillatory or complex zoning, frequently polysynthetic and Carlsbad twinned and sometimes rimmed by albite. Synneusis textures are common, and sericite, calcite and iron oxide minerals are frequent in veins and micro-fissures.

The matrix mainly contains plagioclase and opaque minerals. Accessory minerals are apatite and zircon. There is a total absence of olivine, orthopyroxene and nepheline. Crystals are not oriented.

In the Zr/TiO₂–Nb/Y diagram [31], the analysed volcanic rocks plot in the fields of andesites and trachyan-desites (55% < SiO₂ < 62%; Fig. 2).

Compatible elements' contents are weak; MgO < 4%, Ni < 27 ppm, V varying between 157 and 70 ppm, Cr < 50 ppm, reflecting a rather evolved character and the scarcity of ferro-magnesian phases. The values of the alumina, varying between 16 and 19%, are high and similar to those of calc-alkaline rocks. TiO₂ values (<1%, except for R16 et R16.1 samples) are generally those accepted in calc-alkaline lavas. CaO content, slightly weak (2% in average) and the higher Na₂O content express the albitisation of plagioclase, as it is also pointed out by the value of normative albite (24–68%). The iron content seems also relatively high, being related to hematite (hematite normative from 4–12%). Normative acmite exists in all rocks (0 to 7.49%). Magnesian hypersthene content varies between 3.57 and 12.39%. There is a total absence of normative nepheline.

The CVOR rocks are also characterized by high contents in Y (9–35 ppm), Zr (80–170 ppm) and in Th (2–3 ppm). The low Hf/Th (<3) ratios are the same than those from volcanic arc calc-alkaline basalts [32]. This can be also demonstrated in the Ti/100–Zr–Y.3 diagram [23] (Fig. 3). The Th/U and Th/Ta ratios (>1) are closer to those in rocks originated in an orogenic context [15].

Fig. 4 shows chondrite-normalized REE patterns [19]. All the analysed rocks samples display fractionated light REE (LREE) and flat heavy REE (HREE) ($4.95 < \text{La/Yb} < 27.07$). Patterns are similar to those from calc-alkaline series. Some samples show a negative Eu anomaly, which may suggest plagioclase fractionation [7]. HREE patterns are weakly enriched indicating probably the existence of garnet in the source region (Fig. 4).

In a primitive mantle-normalized plot [29] (Fig. 5), all volcanic samples exhibit similar patterns. They are parallel and fractionated (LILE/HFSE > 10 ratio) and display Nb, Ta and Zr relative depletions typical of calc-alkaline orogenic and/or metasomatized mantle magmas. These anomalies and the high Ba/Nb ratios (>30) [12] are similar to those from orogenic andesites.

4. Discussion and conclusion

For the studied rocks, contents of Al_2O_3 and TiO_2 , and the LREE fractionation compared to the HREE, along with the various geochemical diagrams used, lead to the same result, i.e. the CVOR rocks are comparable to the calc-alkaline rocks originated in orogenic contexts. The La/Nb ratios are relatively higher than 1.5 (5.2), suggesting a lithospheric mantle origin [9, 13, 28, 30]. The La/Ta ratios, higher than 26, indicate a lithospheric source contaminated by the continental crust [17]. The negative Nb anomaly confirms this assumption. The Mesetian volcanism in the Middle-Cambrian period is tholeiitic (at Bou Acila) [22], in places alkaline (at Sidi Said Maachou and in 'Haute Moulouya') [20, 21], or calc-alkaline (this work), thus suggesting a heterogeneity of the lithospheric source composition and probably also different degrees of partial melting of the mantle.

In spite of the calc-alkaline character of the studied rocks, it seems impossible to link this signature with any oceanic subduction. In this part of the Moroccan Meseta, Cambrian palaeogeography, marked by the opening of a rift that never reached an oceanic stage, indicates a continental environment [2, 25–27]. This allows us to ascribe the Nb anomaly, which can be encountered in extensional continental domains [3], and the calc-alkaline orogenic signature to partial melting

of a metasomatized mantle (source effect) [4]. The origin of this metasomatism may be a previous subduction event, probably Panafrican in age [10, 14, 25, 26, 33].

1. Introduction

Dans la Meseta côtière, partie nord-occidentale de la Meseta hercynienne marocaine, dans la vallée de l'oued Rhebar et les thalwegs voisins (Fig. 1), un complexe de roches volcaniques est interstratifié dans la formation des Schistes (grauwackes) à Paradoxides, datée du Cambrien moyen («Acadien») [6, 16]. Il s'agit, au voisinage de l'ancienne mine (Fe–Pb) de l'oued Rhebar, d'une série volcano-sédimentaire avec andésites, trachyandésites, cinérites, tufs pyroclastiques, brèches, formations à *pillow-lavas* et conglomérats [6, 24, 34]. Ce sont les produits d'un appareil volcanique d'émission localisé sur le horst de l'oued Rhebar [6, 16], caractérisé par un volcanisme trachyandésitique intermédiaire à acide, explosif et aérien synchrone de la sédimentation acadienne [24, 34].

Quatorze analyses géochimiques d'éléments majeurs et d'éléments traces effectuées sur ces roches volcaniques avaient conduit à proposer, malgré une perte au feu allant jusqu'à 12%, une tendance calco-alkaline pour ces roches [6, 8, 34]. Dans cette note, nous présentons douze nouvelles analyses chimiques d'éléments majeurs, traces et terres rares (Tableau 1), qui permettent de mieux caractériser l'affinité magmatique, la nature et l'origine du magma parental et d'en déduire le cadre géodynamique. L'étude est établie à partir des éléments en traces supposés immobiles lors des processus d'altération hydrothermale et de métamorphisme (Ti, Y, Nb, Ta, Zr, Th, U, Hf et terres rares).

Les analyses chimiques des échantillons (R1 à R18) représentatifs (andésites et trachyandésites) ont été effectuées à l'université de Grenade (Espagne). Les éléments majeurs ont été dosés par fluorescence X et les éléments en traces par ICP-MS (Tableau 1).

2. Cadre structural

Sur le bord nord-est immédiat du complexe volcanique de l'oued Rhebar (CVOR), un gisement à faunes du Cambrien moyen a été décrit dans les alternances grauwackes–pélites de la formation des Schistes à Paradoxides [6]. Cette formation correspond à une sédimentation marine à granulométrie fine à la base, grossière vers le haut (quartzite d'El Hank) [6], sous l'effet de courants tractifs, et où abondent les feldspaths, en relation avec le volcanisme étudié [24, 34]. Les nombreuses figures sédimentaires (stratifications entrecro-

Tableau 1

Teneurs en éléments majeurs, traces et terres rares des roches de l'oued Rhebar

Table 1

Major, traces and rare earth elements of the Oued Rhebar rocks

Échantillon	R-13	R-13,1	R-13,2	R-13,3	R-16	R-16,1	R-18	R-21	R-27	R-28	R-29	R-30
SiO ₂	56,94	57,62	54,49	55,01	56,52	54,37	57,92	58,43	62,23	57,77	56,14	60,51
TiO ₂	0,77	0,84	0,83	0,76	1,73	1,72	0,85	0,71	0,83	0,69	1,02	0,6
Al ₂ O ₃	18,49	18,23	18,7	17,87	17,06	16,83	19,61	17,97	17,73	19,39	15,55	17,93
Fe ₂ O ₃	7,52	7,9	7,5	6,28	8,87	8,91	5,79	5,46	4,88	5,45	12,54	6,27
MnO	0,15	0,18	0,16	0,13	0,12	0,14	0,12	0,11	0,05	0,15	0,17	0,11
MgO	2,29	2,42	2,21	1,91	2,44	2,6	2,37	3,08	1,76	2,35	4,77	2,46
CaO	2,51	2,26	3,59	5,08	2,97	3,96	1,84	1,82	1,26	2,31	1,57	2,26
Na ₂ O	5,3	5,35	4,5	5,53	6,43	6,03	7,87	7,51	7,13	7,17	2,8	4,06
K ₂ O	1,12	0,16	1,93	1,27	0,31	0,48	0,49	0,48	1,28	0,71	1,4	1,97
P ₂ O ₅	0,25	0,28	0,27	0,19	0,62	0,63	0,25	0,21	0,28	0,2	0,3	0,1
LOI	4,14	3,95	5,18	5,46	3	3,88	2,48	3,65	2,21	3,1	3,43	3,43
Total	99,48	100,19	99,36	99,49	100,07	99,55	99,59	99,43	99,64	99,3	99,69	99,7
Ba	259,54	287,64	393,48	299,44	134,88	114,7	222,91	255,29	514,6	224,53	1428	585,27
Rb	25,473	26,54	42,441	29,356	9,903	15,599	9,943	7,257	17,372	14,333	20,887	31,49
Sr	423,14	407,3	434,91	556,43	408,34	370,74	589,91	270,05	309,29	724,07	334,84	533,72
Y	16,583	20,364	18,776	20,814	35,054	34,011	18,311	18,882	15,797	13,987	20,124	9,287
Zr	105,83	101,66	106,34	161,6	173,02	169,66	117,51	101,73	124,11	108,41	89,606	80,355
Nb	5,959	6,079	6,368	5,427	8,371	8,106	4,62	4,74	8,685	7,443	5,814	5,168
Th	3,163	2,984	3,065	4,03	1,904	1,904	2,635	2,759	5,376	3,87	2,424	2,956
Pb	11,96	8,308	15,251	9,713	2,175	2,3	10,275	2,98	9,351	13,927	3,501	7,706
Ga	18,318	19,442	18,816	18,355	20,854	20,944	18,825	16,736	15,586	21,209	23,599	20,809
Zn	82,166	94,064	75,329	59,619	59,592	57,329	62,056	42,654	88,734	66,899	129,68	66,161
Cu	30,765	30,591	36,063	31,283	3,915	3,302	106,79	41,333	23,954	14,89	116,4	13,031
Ni	9,39	11,158	10,733	11,233	1,745	1,116	10,261	14,059	8,081	12,428	27,011	12,308
V	97,735	106,09	98,943	105,22	117,63	118,96	120,24	80,363	69,93	76,939	157,96	70,767
Cr	25,732	25,207	23,09	43,237	23,444	21,73	40,476	50,799	33,766	42,89	49,497	33,149
Hf	2,979	2,871	3,134	4,357	4,203	4,264	3,372	2,222	3,183	3,019	2,553	2,355
Cs	0,827	0,815	1,372	1,064	0,679	0,757	0,382	0,394	0,712	0,625	0,609	1,387
Sc	11,228	11,787	11,313	11,33	20,542	20,037	12,712	10,917	7,662	7,62	18,19	7,894
Ta	0,487	0,495	0,504	0,444	0,656	0,687	0,374	0,367	0,399	0,63	0,419	0,429
Co	14,814	19,348	15,978	10,852	13,819	12,901	17,573	11,965	8,631	11,495	31,895	9,585
Ti	0,141	0,147	0,236	0,153	0,065	0,11	0,068	0,054	0,21	0,077	0,109	0,215
La	17,619	19,014	22,829	21,311	16,102	18,973	18,604	17,004	40,384	24,428	19,301	13,682
Ce	36,364	38,794	45,737	43,741	36,06	45,39	39,966	34,021	75,635	49,469	42,288	28,032
Pr	5,002	5,763	5,944	5,473	5,872	6,379	5,328	4,64	8,264	5,981	5,401	3,536
Nd	21,436	24,019	24,55	22,372	27,466	29,372	22,7	19,693	29,728	24,735	23,567	13,772
Sm	4,925	5,471	5,058	4,799	6,947	7,35	4,99	4,031	4,727	4,601	5,051	2,86
Eu	1,518	1,766	0,834	1,44	2,294	2,546	1,426	1,147	1,556	1,459	1,149	0,89
Gd	4,098	4,765	4,529	4,358	7,423	7,418	4,523	4,009	4,042	3,654	4,708	2,493
Tb	0,583	0,665	0,664	0,634	1,146	1,116	0,639	0,599	0,596	0,514	0,697	0,353
Dy	3,073	3,76	3,819	3,721	6,948	6,722	3,509	3,312	3,131	2,89	3,819	1,931
Ho	0,603	0,732	0,758	0,778	1,385	1,322	0,703	0,648	0,607	0,546	0,787	0,382
Er	1,666	1,929	2,069	2,137	3,574	3,621	1,834	1,764	1,57	1,505	2,232	1,045
Tm	0,256	0,293	0,308	0,332	0,499	0,528	0,285	0,261	0,227	0,226	0,342	0,159
Yb	1,663	1,856	2,029	2,15	3,255	3,258	1,913	1,756	1,492	1,429	2,169	1,011
Lu	0,254	0,292	0,32	0,326	0,469	0,471	0,284	0,269	0,224	0,215	0,341	0,167
U	0,671	0,754	0,789	2,066	0,73	0,765	1,765	1,421	2,071	1,038	1,315	0,977
Hf/Th	0,94	0,96	1,02	1,08	2,21	2,24	1,28	0,81	0,59	0,78	1,05	0,8
La/Ta	36,18	38,41	45,3	48	24,55	27,62	49,74	46,33	101,21	38,77	46,06	31,89
La/Yb	10,59	10,24	11,25	9,91	4,95	5,82	9,73	9,68	27,07	17,09	8,9	13,53
Th/U	4,71	3,96	3,88	1,95	2,61	2,49	1,49	1,94	2,6	3,73	1,84	3,03
Th/Ta	6,49	6,03	6,08	9,08	2,9	2,77	7,05	7,52	13,47	6,14	5,79	6,89
Ba/Nb	43,55	47,32	61,79	55,18	16,11	14,15	48,25	53,86	59,25	30,17	245,62	113,25

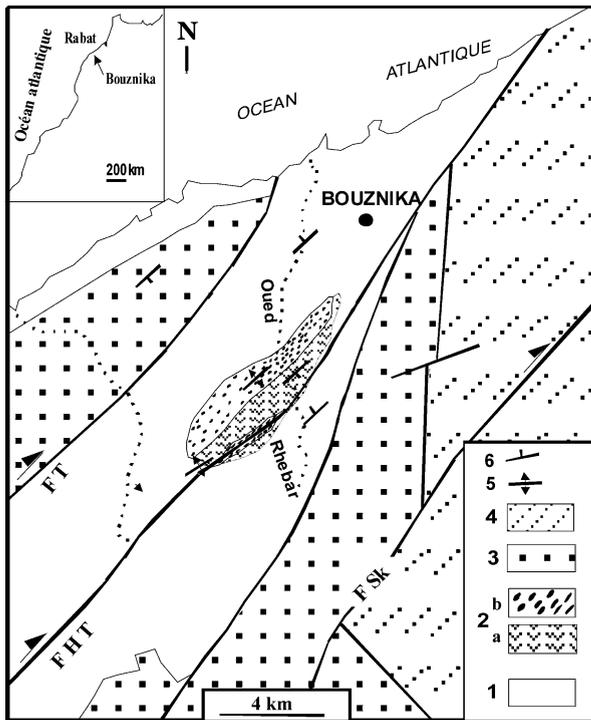


Fig. 1. Carte géologique schématique du secteur de l'oued Rhebar (d'après [6,13,30], simplifiée et complétée). 1 : Formation des schistes à paroxydes du Cambrien moyen (« Acadien »); 2 : a, roches volcaniques de l'oued Rhebar (andésites, trachyandésites, tufs, brèches); b, formations chaotiques; 3 : formations ordovico-siluriennes; 4 : formations dévono-carbonifères; 5 : schistosité régionale verticale; 6 : stratification. FT : faille de Tamouda; FHT : faille de Haj Thami; FSK : failles de Skhirat-Cherrat.

Fig. 1. Geological sketch map of the Oued Rhebar sector (after [6,13,30], simplified and completed). 1: Acadian paroxides greywackes formation; 2: a, Oued Rhebar volcanic rocks (andesites, trachyandesites, tuffs, breccia); b, chaotic deposits; 3: Ordovician–Silurian formations; 4: Devonian–Carboniferous formations; 5: regional cleavage; 6: stratification. FT: Tamouda fault; FHT: Haj Thami fault; FSK: Skhirat-Cherrat faults.

sées notamment) observées dans les grauwwacks de la formation, au voisinage du CVOR et aussi dans les tufs, témoignent d'un dépôt de faible profondeur.

Le CVOR, allongé selon une direction NE–SW, est bordé à l'est par une formation chaotique (Fig. 1), dilacérée par la schistosité régionale et où on reconnaît des blocs quartzitiques (<80 cm) et pélitiques dans une matrice grauwwackeuse, et à l'ouest par une formation conglomératique, schistosée, mal classée et où abondent les galets quartzitiques (centimétriques à décimétriques) dans une matrice grauwwackeuse. Ce conglomérat jalonne cartographiquement, surtout à l'ouest, la limite du CVOR, changeant rapidement d'épaisseur (5 à 150 m). Ces relations stratigraphiques indiquent un âge Cambrien moyen pour le CVOR, plutôt qu'un

âge Néoprotérozoïque, tel qu'on l'a suggéré récemment [8].

La sédimentation dans un milieu à faible profondeur d'eau, les dépôts chaotiques et la nature sub-aérienne du volcanisme associé suggèrent une paléogéographie en haut fond, préfigurant le horst structural actuel de l'oued Rhebar, [2,6,24–27], un haut fond ou horst paléogéographique allongé selon une direction NE–SW, porteur de volcans subaériens et bordé par des aires de sédimentation peu profondes, mais subsidentes. Cette structure extensive est considérée comme étant la terminaison nord du graben ouest-mésétien du Cambrien moyen mis en évidence dans la Meseta occidentale-centrale [2,6,24–27]. Les failles NE–SW participant à la genèse de ce graben se prolongeraient depuis le Haut Atlas occidental jusque dans la région de l'oued Rhebar. La genèse des dépôts chaotiques du CVOR serait due à ces accidents dont l'activité créait des écroulements et des écoulements gravitaires de type *debris flow*.

Le graben ouest-mésétien indique un épisode de *rifting* avorté (sans océanisation) au Cambrien moyen [2,22,24–27]. La distension synsédimentaire aurait débuté au sud dans l'Anti-Atlas, dès le Cambrien inférieur, et se serait achevée plus au nord dans la Meseta occidentale (Meseta côtière et Maroc central) au Cambrien moyen-supérieur [25] par l'arrivée des quartzites d'El Hank. Cette distension est accompagnée d'un volcanisme connu à Sidi Said Maachou (100 km plus au sud) [11,20], à l'oued Rhebar et dans la partie sud-est du Maroc central et la Meseta orientale [21,22]. Le CVOR serait donc le témoin volcanique de l'activité tectonique extensionnelle du Cambrien.

La déformation régionale hercynienne est ici en relation avec la zone de cisaillement NE–SW d'El Haj Thami [1,5,16,34] (Fig. 1), un des principaux accidents NE–SW hercyniens de la Meseta, hérités des structures extensives synchrones de la sédimentation acadienne [2,24–27]. La déformation hercynienne y est distribuée en couloirs cisailants sub-méridiens, où le plissement et la schistosité sont plus importants qu'entre les couloirs [5,16,34]. La déformation dans les composantes du CVOR dépend de leur emplacement vis-à-vis des couloirs de cisaillement et de la compétence des roches. Ainsi, les formations chaotiques des bordures est et ouest sont dilacérées (surtout la partie ouest) par la schistosité régionale (NE–SW). Les roches volcaniques (andésite et trachyandésite) et les produits pyroclastiques ne montrent que rarement une schistosité, contrairement aux grauwwacks et tufs [5,16,34].

3. Données pétrographiques et géochimiques

Malgré le métamorphisme de faciès schiste vert de bas degré qui affecte toute la série [6,16,24,26,34], la texture originelle et les caractères primaires des minéraux ont été préservés dans les roches volcaniques étudiées. Elles ont une texture microlitique (vitreuse, fluidale, vacuolaire) porphyrique et comprennent une paragenèse minérale composée de plagioclase, sanidine, quartz, clinopyroxène en reliques, amphibole brune, biotite, oxydes de fer, chlorite et calcite.

Le plagioclase, en phénocristaux et microphénocristaux, présente un zonage oscillatoire ou complexe, maculé simple et albite, agglomérés en syneusis, plus ou moins orienté, parfois entouré d'albite ou recoupé de fractures remplies de séricite, de calcite et d'oxyde de fer.

La mésostase comprend essentiellement plagioclase et minéraux opaques. Les minéraux accessoires sont l'apatite aciculaire et le zircon. On relève une absence totale d'olivine, d'orthopyroxène et de néphéline. Les minéraux ne sont pas orientés dans les échantillons sélectionnés.

Dans le diagramme $Zr/TiO_2-Nb/Y$ [31], les roches volcaniques analysées ont des compositions andésitiques à trachyandésitiques ($55\% < SiO_2 < 62\%$; Fig. 2). Leurs teneurs en éléments compatibles sont faibles, $MgO < 4\%$, $Ni < 27$ ppm, V varie entre 157 et 70 ppm, $Cr < 50$ ppm, attestant leur caractère assez évolué et correspondant à la rareté de la phase ferromagnésienne. Les teneurs en alumine entre 16 et 19%

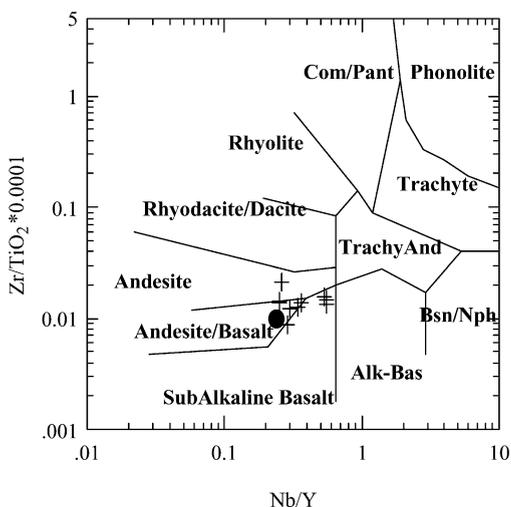


Fig. 2. Les vulcanites de l'oued Rhebar dans le diagramme $Zr/TiO_2-Nb/Y$ [28].

Fig. 2. The Oued Rhebar volcanics in the $Zr/TiO_2-Nb/Y$ diagram [28].

sont cependant élevées et sont celles rencontrées dans les roches calco-alcalines. Les teneurs en titane ($< 1\%$, sauf dans les échantillons R16 et R16,1) sont les valeurs généralement admises pour les laves calco-alcalines. Les valeurs du calcium, relativement faibles (2% en moyenne) s'opposent à celles du sodium, plutôt hautes, traduisant une albitisation des plagioclases, comme en témoigne le pourcentage en albite normatif (24–68%). Les teneurs en fer sont élevées, et en rapport avec la présence d'hématite (hématite normative 4–12%). De l'acmite normative est omniprésente dans toutes les roches (0 à 7,49%). Les teneurs de l'hypersthène magnésien varient de 3,57 à 12,39%. Il y a absence totale de néphéline normative.

Les roches du CVOR sont également caractérisées par des teneurs assez élevées en Y (9–35 ppm), Zr (80–170 ppm) et en Th (2–3 ppm). Les faibles valeurs des rapports Hf/Th (< 3) les apparentent aux basaltes calco-alcalins des arcs volcaniques [32]. Ceci est aussi démontré dans le diagramme $Ti/100-Zr-Y.3$ [23] (Fig. 3). Les rapports Th/U et Th/Ta (> 1) sont similaires à ceux des roches rencontrés dans les contextes orogéniques [15].

Dans le diagramme des terres rares (REE) normalisées aux chondrites [19], les spectres sont parallèles et enrichis en terres rares légères (LREE) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) ($4,95 < La/Yb < 27,07$). Quelques échantillons montrent une anomalie négative en Eu compatible avec l'accumulation des plagioclases [7]. Les HREE sont modérément fractionnées,

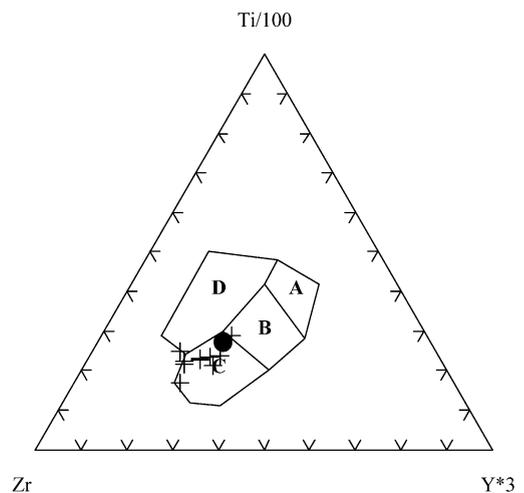


Fig. 3. Diagramme $Ti/100-Zr-Y.3$ de discrimination tectonomagmatique [20]. A : Tholéiites d'arc insulaire ; B : tholéiites d'arc insulaire et MORB ; C : basaltes calco-alcalins ; D : basaltes intraplaques.

Fig. 3. $Ti/100-Zr-Y.3$ tectonomagmatic discrimination diagram [20]. A: Island-arc tholeiites; B: island-arc tholeiites and MORB; C: calco-alkaline basalts; D: within-plate basalts.

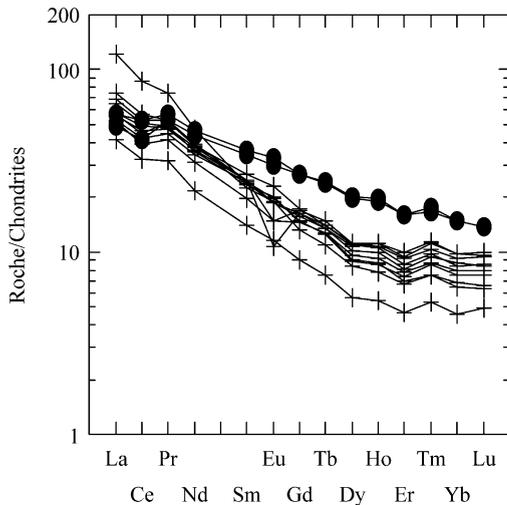


Fig. 4. Spectres des terres rares normalisés par rapport aux chondrites [16] des vulcanites de l'oued Rhebar.

Fig. 4. Chondrite-normalized [16] REE patterns for the Oued Rhebar volcanics.

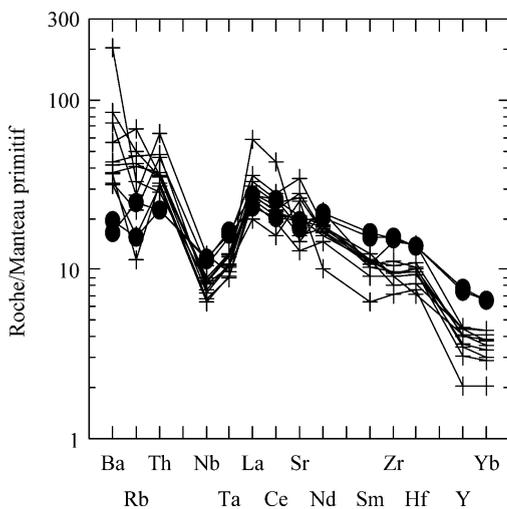


Fig. 5. Diagramme de normalisation au manteau primitif [26].

Fig. 5. Normalization diagram with respect to the primitive mantle [26].

ce qui suggère la présence du grenat résiduel dans la source (Fig. 4).

Dans les diagrammes multi-éléments normalisés au manteau primitif [29], les spectres sont parallèles et fractionnés (rapport LILE/HFSE > 10) et montrent des anomalies négatives en Nb, Ta et Zr, typiques des magmas orogéniques calco-alcalins et/ou issus du manteau métasomatique (Fig. 5). Ces anomalies, en plus des rapports Ba/Nb élevés (>30) [12], sont les mêmes que celles rencontrées dans les andésites orogéniques.

4. Discussions et conclusion

Pour les roches étudiées, les teneurs en Al_2O_3 , TiO_2 et le fractionnement des LREE par rapport aux HREE, en plus des différents diagrammes géochimiques utilisés, conduisent tous au même résultat : les roches volcaniques de l'oued Rhebar sont comparables aux roches calco-alcalines générées dans les contextes orogéniques. Elles ont des rapports La/Nb assez élevés pour qu'elles soient liées à des régions sources situées dans le manteau lithosphérique continental [13,28]. Ces rapports La/Nb, utilisés normalement pour distinguer entre les sources mantelliques lithosphériques et asthénosphériques [9,30], sont tous supérieurs à 1,5 (5,2) et sont en accord avec une participation lithosphérique. Les rapports La/Ta, supérieurs à 26, suggèrent une source lithosphérique contaminée par la croûte continentale [17]. L'anomalie en Nb négative confirme cette hypothèse. Le volcanisme d'âge Cambrien moyen de la Meseta marocaine, tantôt tholéiitique (à Bou Acila) [22], tantôt alcalin (à Sidi Said Maachou et dans la Haute Moulouya) [20,21], ou encore calco-alcalin (ce travail), reflète une hétérogénéité de la composition de la source lithosphérique, et probablement aussi, différents taux de fusion partielle du manteau.

Malgré le caractère calco-alcalin des vulcanites mises en place pendant cette époque, il ne semble pas que l'on puisse invoquer un lien génétique avec une subduction de croûte océanique. La paléogéographie, au Cambrien moyen de cette partie de la Meseta, est marquée par la présence d'un rift qui n'a jamais atteint le stade d'océanisation et indique plutôt un environnement intraplaque continental [2,25–27]. Ceci conduirait à attribuer l'anomalie négative en Nb, qui peut être rencontrée dans les domaines continentaux en distension [3], ainsi que la signature orogénique calco-alcaline, à la fusion partielle, en contexte extensionnel, d'un manteau métasomaté (effet de source, [4]) lors d'une subduction ancienne d'âge Antécambrien, vraisemblablement Panafricain [10,14,25,26,33].

Ces résultats, d'ordre géochimique, contribuent à mieux caractériser le passage de l'orogénèse panafricaine à la période d'ouverture des bassins paléozoïques marocains.

Remerciements

Les auteurs remercient le Pr. André Michard ainsi que les deux rapporteurs anonymes pour leurs remarques, critiques et suggestions. Ce travail a été réalisé dans le cadre des projets 65/03/P et 65/04/R/E du programme interuniversitaire hispano-marocain ; il a également bénéficié d'un financement de la junta d'Andalousie.

Références

- [1] B. Baghdad, Paléocontraintes et cinématique des principales failles entre Cherrat et Dar Bou Azza lors des phases tardi-hercyniennes (Meseta côtière), thèse, Rabat, 1999, 234 p.
- [2] C. Bernardin, J.-J. Cornée, M. Corsini, S. Mayol, J. Muller, M. Tayebi, Variations d'épaisseur du Cambrien moyen en Meseta marocaine occidentale : signification géodynamique des données de surface et de subsurface, *Can. J. Earth Sci.* 25 (1988) 2104–2117.
- [3] H. Bertrand, The Mesozoic tholeiitic province of Northwest Africa. Record of the Early opening of central Atlantic, in: A.B. Mampunzu, R.T. Lubala (Eds.), *Magmatism in Extensional Structural Setting, the Phanerozoic African Plate*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1991, pp. 147–188.
- [4] R.A. Coish, C.W. Sinton, Geochemistry of mafic dykes in the Adirondak Mountains: implications for late Proterozoic continental rifting, *Contrib. Mineral. Petrol.* 110 (1992) 500–514.
- [5] Y. Cailleux, C. Deloche, H. Gonord, P. Rolin, Les zones de cisaillement hercyniens en basse Meseta marocaine, *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc* 335 (1989) 199–209.
- [6] J. Destombes, A. Jeannette, Mémoire explicatif de la carte géotechnique de la Meseta côtière à l'est de Casablanca au 1:50 000, *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc* 180 (1966) 1–104.
- [7] C. Dupuy, J. Dostal, G. Marcelot, H. Bougault, J.-L. Joron, M. Treuil, Geochemistry of basalt from central and south New Hebrides arc: Implications for their source rock composition, *Earth Planet Sci. Lett.* (1982) 207–225.
- [8] A. El Attari, Étude lithostratigraphique et tectonique des terrains Cambro-Ordoviciens du Môle Côtier (Meseta occidentale, Maroc), thèse, université Mohammed-V, Rabat, 2001, 389 p.
- [9] J.G. Fitton, D. James, P.D. Kempton, D.S. Ormerod, W.P. Leeman, The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States, in: X. Cox, Y. Menzi, et al. (Eds.), *Oceanic and continental lithosphere: similarities and differences*, *J. Petrol. (special issue)* (1988) 331–349.
- [10] D. Gasquet, G. Levresse, A. Cheilletz, M.R. Azizi-Samir, A. Mouttaqi, Contribution to a geodynamic reconstruction of the Anti-Atlas (Morocco) during Pan-African times with the emphasis on inversion tectonics and metallogenic activity at the Precambrian–Cambrian transition, *Precamb. Res.* 140 (2005) 157–182.
- [11] M. Gigout, Le volcan sous-marin de Sidi Saïd Maâchou (Maroc occidental), *Bull. Soc. géol. France* 6 (1956) 559–574.
- [12] J. Gill, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*, Springer Verlag, 1981 (390 p.).
- [13] C. Hawkesworth, S. Turner, K. Gallagher, A. Hunter, T. Bradshaw, N. Rogers, Calc-alkaline magmatism, lithospheric thinning and extension in the Basin and Range, *J. Geophys. Res.* 100 (1995) 10271–10286.
- [14] K. Hefferan, J. A. Karson, A. Saquaque, Proterozoic collisional basins in a Pan-African suture zone, Anti-Atlas Mountains, Morocco, *Precamb. Res.* 54 (1992) 295–319.
- [15] J.-L. Joron, M. Treuil, Utilisation des propriétés des éléments fortement hydromagmatophiles pour l'étude de la composition chimique et de l'hétérogénéité du manteau, *Bull. Soc. géol. France* (7) 19 (6) (1977) 1197–1205.
- [16] A. Laamrani El Idrissi, Relations déformations-déplacements le long de failles hercyniennes : systèmes de Bouznika du Cherrat-Ben Slimane et du Cherrat-Yquem (Meseta marocaine nord-occidentale), *Bull. Inst. Sci. Rabat* 19 (1995) 1–16.
- [17] P.T. Leat, R.N. Thompson, M.A. Morisson, G.L. Henry, A.P. Dickin, Compositionally-diverse Miocene recent rift-related magmatism in Northwest Colorado: partial melting, and mixing of mafic magmas from three different asthenospheric mantle sources, in: X. Cox, Y. Menzi, et al. (Eds.), *Oceanic and continental Lithosphere: similarities and differences*, *J. Petrol. (special issue)* (1988) 351–357.
- [18] G. Lecointre, Recherches géologiques dans la Meseta marocaine, *Mém. Soc. Sci. Nat. Maroc* 14 (1926) 1–158.
- [19] N. Nakamura, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites, *Geochim. Cosmochim. Acta* 38 (1974) 757–775.
- [20] H. Ouali, B. Briand, J.L. Bouchardon, M. El Maâtaoui, Mise en évidence d'un volcanisme alcalin intraplaque d'âge Acadien dans la Meseta nord-occidentale (Maroc), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 330 (2000) 611–619.
- [21] H. Ouali, B. Briand, M. El Maâtaoui, J.-L. Bouchardon, Les amphibolites de la boutonnière paléozoïque de Midelt (Haute Moulouya, Maroc) : témoins d'une extension intraplaque au Cambro-ordovicien, *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc* 408 (2001) 177–181.
- [22] H. Ouali, B. Briand, J.-L. Bouchardon, P. Capiez, Le volcanisme cambrien du Maroc central : implications géodynamiques, *C. R. Geoscience* 335 (2003) 425–433.
- [23] J.A. Pearce, J.R. Cann, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis, *Earth Planet. Sci. Lett.* 19 (1973) 290–300.
- [24] A. Piqué, Evolution structurale d'un segment de la chaîne hercynienne : la Meseta marocaine nord-occidentale, *Sci. Géol. Mém. Strasbourg* 56 (1979) 243.
- [25] A. Piqué, Evidence for an important extensional event during the Latest Proterozoic and Earliest Paleozoic in Morocco, *C. R. Geoscience* 335 (2003) 865–868.
- [26] A. Piqué, A. Michard, Moroccan Hercynides: a synopsis. The Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of West Africa, *Am. J. Sci.* (1989) 289–330.
- [27] A. Piqué, M. Bouabdelli, J.-R. Darboux, Le rift cambrien du Maroc occidental, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 320 (1995) 1017–1024.
- [28] N.W. Rogers, C. Hawkesworth, C.J. Ormerod, Late Cenozoic basaltic magmatism in the Western Great Basin California and Nevada, *J. Geophys. Res.* 100 (1995) 10287–10301.
- [29] S.S. Sun, W.F. MC Dounough, in: A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society, Blackwell Scientific Publications, Oxford, Boston, 1989, pp. 313–345.
- [30] R.N. Thompson, M.A. Morisson, Asthenospheric and lower lithospheric mantle contributions to continental extensional magmatism: an example from the British Tertiary Province, *Chem. Geol.* 68 (1988) 1–15.
- [31] J.A. Winchester, P.A. Floyd, Geochemical discriminations of different magma series and their differentiations products using immobile elements, *Chem. Geol.* 20 (1977) 325–345.
- [32] D.A. Wood, J.L. Joron, M. Treuil, A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings, *Earth Planet Sci. Lett.* 45 (1979) 326–336.
- [33] N. Youbi, Le volcanisme « post-collisionnel », un magmatisme intraplaque relié à des panaches mantelliques. Étude volcanologique et géochimique, exemples d'application dans le Néoprotérozoïque terminal (PIII) de l'Anti-Atlas et le Permien du Maroc, thèse d'État, université Cadi Ayyad, Marrakech, 1998, 520 p.
- [34] M. Zahraoui, La plate-forme carbonatée dévonienne du Maroc occidental et sa dislocation hercynienne, thèse d'État, UBO, Brest, France, 1991, 261 p.