



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 335 (2003) 425–433



Géomatériaux / Pétrologie

Le volcanisme cambrien du Maroc central : implications géodynamiques

Houssa Ouali ^{a,*}, Bernard Briand ^b, Jean-Luc Bouchardon ^c, Paul Capiez ^b

^a Université Moulay-Ismaïl, département de géologie, groupe GeoCube, BP 4010, Beni-M'Hamed, Meknès, Maroc

^b Laboratoire de dynamique de la lithosphère, université Lyon-1, 27–43, bd du 11-Novembre-1918, 69622 Villeurbanne cedex, France

^c École des mines de Saint-Étienne, 158bis, cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne, France

Reçu le 8 juillet 2002 ; accepté le 17 mars 2003

Présenté par Claude Jaupart

Résumé

Au Maroc central, le complexe volcanique de Bou-Acila, attribué au Cambrien, se situe au-dessus des calcaires à traces d'Archéocyathidés, d'âge Géorgien. Malgré le métamorphisme de faible degré qui a affecté ces roches, la texture magmatique originelle est bien conservée. Il s'agit d'une texture doléritique, parfois porphyrique. L'assemblage minéralogique primaire de ces métavolcanites est représenté par les plagioclases, les pyroxènes et les minéraux opaques. L'essentiel de la roche est occupé par des minéraux secondaires, constitués d'albite, d'épidote, de chlorite et de calcite. D'après leurs compositions en éléments majeurs et en éléments en traces, les moins sensibles aux processus d'altération, ces roches présentent des caractères de tholéiites continentales et sont les témoins d'un épisode volcanique en site intracontinental. Ce volcanisme, ainsi que ceux reconnus dans d'autres régions du Maroc confirment l'existence d'un épisode distensif au Cambrien à l'intérieur du Gondwana.

Pour citer cet article : H. Ouali *et al.*, *C. R. Geoscience* 335 (2003).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

The Central Morocco Cambrian volcanism: geodynamic implications. In southeastern Central Morocco, the Bou-Acila volcanic complex is considered of Cambrian age. In spite of low-grade metamorphic effect, initial volcanic texture and mineralogy can be recognized and volcanic rocks are dominated by dolerites and porphyric dolerites. The initial mineralogy is composed of plagioclases, pyroxenes and dark minerals. A secondary mineral assemblage is composed of albite, epidote, chlorite and calcite. According to their immobile elements compositions, the southeastern central Morocco metavolcanites are of within-plate continental tholeiites. This volcanism and those recognized in many other areas in Morocco confirm a Cambrian extensive episode within the Gondwana supercontinent. **To cite this article:** H. Ouali *et al.*, *C. R. Geoscience* 335 (2003).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : paléovolcanisme ; tholéiites continentales ; Cambrien ; Bou-Acila ; Maroc central

Keywords: palaeovolcanism; continental tholeiite; Cambrian; Bou-Acila; central Morocco

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : ouali@fsmek.ac.ma (H. Ouali).

Abridged English version

1. Introduction

In southeastern central Morocco, a Cambrian age [12,24] has been assigned to the Bou-Acila volcanic complex (Fig. 1). Most authors encountered difficulties to characterize this volcanism using only petrographic characters, because of the mineralogical and textural transformations exhibited by the palaeovolcanites. Recently, geochemical studies were carried on the Sidi-Saïd Maâchou palaeovolcanites (coastal Meseta) and on Midelt Palaeozoic amphibolites (eastern Meseta); they are remnants of an alkaline intraplate volcanism [13–15]. In order to obtain a complete synthesis of the Meseta Cambrian volcanism, it is thus necessary to determine the geochemical significance of the Bou-Acila Cambrian volcanism.

2. Geological setting

The central massif corresponds to a vast basement overlapped to the south by the phosphatic Cretaceous plateau. The massif is classically subdivided into major structures: anticlinoriums and synclinoriums oriented NE–SW. The Bou-Acila zone, which belongs to the Qasbat-Tadla–Azrou anticlinorium, is characterized by an ante-Carboniferous massif, affected by horst and graben tectonics. Everywhere, these Palaeozoic formations were deformed by the Hercynian orogeny during several phases.

The 'Bou-Acila andésites' appear in the horsts of Bou-Acila–Ouahdad, Oued-Aougla–Sidi-Belrhit and of Bou-Ibenrhar (Qasbat-Tadla map 1:100 000 [24]). A series base, formed by andesites, then by tuffaceous green schists, appears only in the Bou-Acila horst [12, 24]. The age of this sequence is debated: Precambrian for Morin [12], and Cambrian for Verset [24]. Everywhere else, Georgian limestones appear (Bou-Acila marble); they are covered by a thick volcano-clastic series. This later is essentially composed of dolerites, sandstone, conglomerate and other volcanic rocks. In the southwestern Bou-Ibenrhar horst, the metamorphic limestone level overlies an acid volcano-sedimentary series, probably of Precambrian age. In order to avoid any possible confusion concerning the age of these rocks, this paper aims to determine the geochemical

significance of the metavolcanites situated over the metamorphic Georgian limestones.

3. Petrographic and geochemical data

In spite of low-grade metamorphic effects, initial volcanic texture and mineralogy can be recognized and volcanic rocks are mainly dolerites and porphyric dolerites. The initial mineralogy is composed of plagioclases, pyroxenes, and dark minerals. A secondary mineral assemblage is composed of albite, epidote, chlorite and calcite.

Representative analytical data from southeastern central Morocco metavolcanites are reported in Table 1. Except alkali and CaO, which present important variations, most of major elements show a good correlation with a ratio Mg_i ($Mg_i = 100 \times Mg / (Mg + Fe^{2+})$ with $Fe^{2+} / Fe^{3+} = 0.85$). The metavolcanites are characterized by low TiO_2 (1.24 to 2.32%), Cr (<100 ppm) and Ni (<50 ppm) contents. They present however high V (180 to 360 ppm) and Sc (25 to 44 ppm) contents. Their distribution in a Nb/Y–Zr/ TiO_2 diagram [25] indicates a subalkaline affinity for most studied rocks, and classify them as andesitic basalts (Fig. 2). Ti/V ratios (30 to 50; Table 1) are similar to those of continental tholeiites, MORB and back-arc basalts, but differ from alkali basalt, calcalkaline basalt, and arc tholeiite ratios. A primordial mantle-normalised spidergram using incompatible elements [22] (Fig. 3) shows a moderate enrichment in light rare-earth elements compared to heavy rare-earth elements ($1.3 < (La/Yb)_{mp} < 2.3$; mp = normalised to primordial mantle) and a negative Nb anomaly ($0.4 < (Nb/Th)_{mp} < 0.9$). A negative Sr anomaly suggests a plagioclase fractionation. Samples from Bou-Acila show a clear Ti anomaly, correlated with a low V concentration, reflecting an important Fe–Ti oxide fractionation.

4. Discussion and conclusion

The $(Th/Ta)_{mp} - (Tb/Ta)_{mp}$ diagram [23] shows that the whole studied rocks plot into the field of continental tholeiitic basalt, back arc basalt and N-MORB (Fig. 4). However, the slope of the spidergrams precludes any similitude with N-MORBs. This fact is confirmed by a Th/Yb–Ta/Yb diagram and shows a

clear fingerprint of subduction or crustal contamination (Fig. 5).

Their slight Nb negative anomaly, their weak rare earth elements enrichment and their $(Th/Ta)_{pm}$ and $(Tb/Ta)_{pm}$ ratios preclude any orogenic context for the emplacement of those metavolcanites. The specific features of these rocks are often explained as indicative of a back-arc context [7,9]. Such a hypothesis suffers from the absence of arc in Morocco at this time. Thus the characteristics of these metavolcanites can be interpreted as resulting from crustal contamination [2, 4,9]. This assumption would be in agreement with an intra-continental extensive setting. Continental tholeiites, with a weak slope spidergram, can be produced by a high mantle-partial-melting degree, probably due to a high lithospheric thinning. A similar hypothesis has been proposed by Bertrand [2] for some Moroccan Mesozoic tholeiites. In Morocco, Cambrian continental tholeiites have been mentioned and studied in many other areas [1,13,16].

1. Introduction

La reconnaissance d'un volcanisme d'âge Cambrien dans la Meseta marocaine remonte à plus d'un demi-siècle [3,6,11,12]. Dans le Sud-Est du Maroc central (pays Zaïan), le complexe volcanique de Bou-Acila ([12]; Fig. 1) a été attribué au Cambrien par Verdet [24]. La plupart des auteurs ont souligné les difficultés rencontrées pour caractériser ce volcanisme, en utilisant seulement l'outil pétrographique. En effet, les paléovolcanites ont subi des processus postmagmatiques divers (métamorphisme, hydrothermalisme et altération supergène), conduisant à des transformations minéralogiques et texturales qui rendent la reconnaissance des protolites très délicate. Récemment, les études géochimiques des paléovolcanites de Sidi-Saïd Maâchou (Meseta côtière) et des amphibolites de la boutonnière paléozoïque de Midelt (Meseta orientale) ont permis de les rapporter à un volcanisme alcalin, mis en place dans un site intra-continental [13–15]. Dans le but de réaliser une synthèse complète du volcanisme cambrien de la Meseta, il est donc nécessaire de faire le point sur les connaissances acquises sur le volcanisme cambrien de Bou-Acila et de mieux cerner son contexte géodynamique de mise en place.

2. Cadre général du Maroc central

Le Massif central est un vaste bombement du socle, disparaissant au sud sous le plateau crétacé des phosphates. Il est classiquement subdivisé en structures majeures : anticlinoriums et synclinoriums, de direction NE–SW. La zone de Bou-Acila, qui appartient à l'anticlinorium de Qasbat-Tadla–Azrou, se caractérise par un ensemble de massifs anté-carbonifères, affectés par une tectonique en horsts et grabens. L'orogénèse hercynienne a déformé ces terrains du Paléozoïque, lors de plusieurs phases.

Les paléovolcanites, connues sous le nom d'« andésites de Bou-Acila », affleurent dans les horsts de Bou-Acila–Ourhdad, de Oued-Aougla–Sidi-Belrhith et de Bou-Ibenrhar (à l'est des deux précédents – feuille de Qasbat-Tadla au 1/100 000 ; [24]). La base de la série constituée d'andésites puis de schistes tufacés verts [12,24] n'est visible que dans le horst de Bou-Acila–Ourhdad. L'âge de cet ensemble est controversé : Précambrien pour Morin [12] et Cambrien pour Verdet [24]. Partout ailleurs, apparaissent des calcaires « géorgiens » (marbre de Bou-Acila) recouverts par une puissante série volcano-détritique, constituée essentiellement de roches vertes à structure doléritique, de grès et de conglomérat à éléments volcaniques. Dans le Sud-Ouest du horst de Bou-Ibenrhar, le niveau des calcaires métamorphiques fait suite à une série volcano-sédimentaire acide, rapportée au Précambrien. Pour éviter toute confusion possible concernant l'âge de ces metavolcanites, déjà très incertain puisqu'on ne dispose d'aucune donnée géochronologique, on s'intéressera dans ce travail uniquement aux laves situées au-dessus des calcaires métamorphiques d'âge « Géorgien ».

3. Données pétrographiques et géochimiques

Les échantillons étudiés proviennent du horst de Bou-Acila–Ourhdad, du Sud de Jbel Sidi-Belghit (Oued Aougla), ainsi que de la partie occidentale du massif de Jbel-Hadid (Bou-Ibenrhar). Malgré le métamorphisme de faible degré qui a affecté ces roches, avec une paragenèse constituée d'albite, d'épidote, de chlorite et de calcite, la texture magmatique originelle est bien conservée. Il s'agit d'une texture doléritique, parfois porphyrique, qui laisse entrevoir l'assemblage

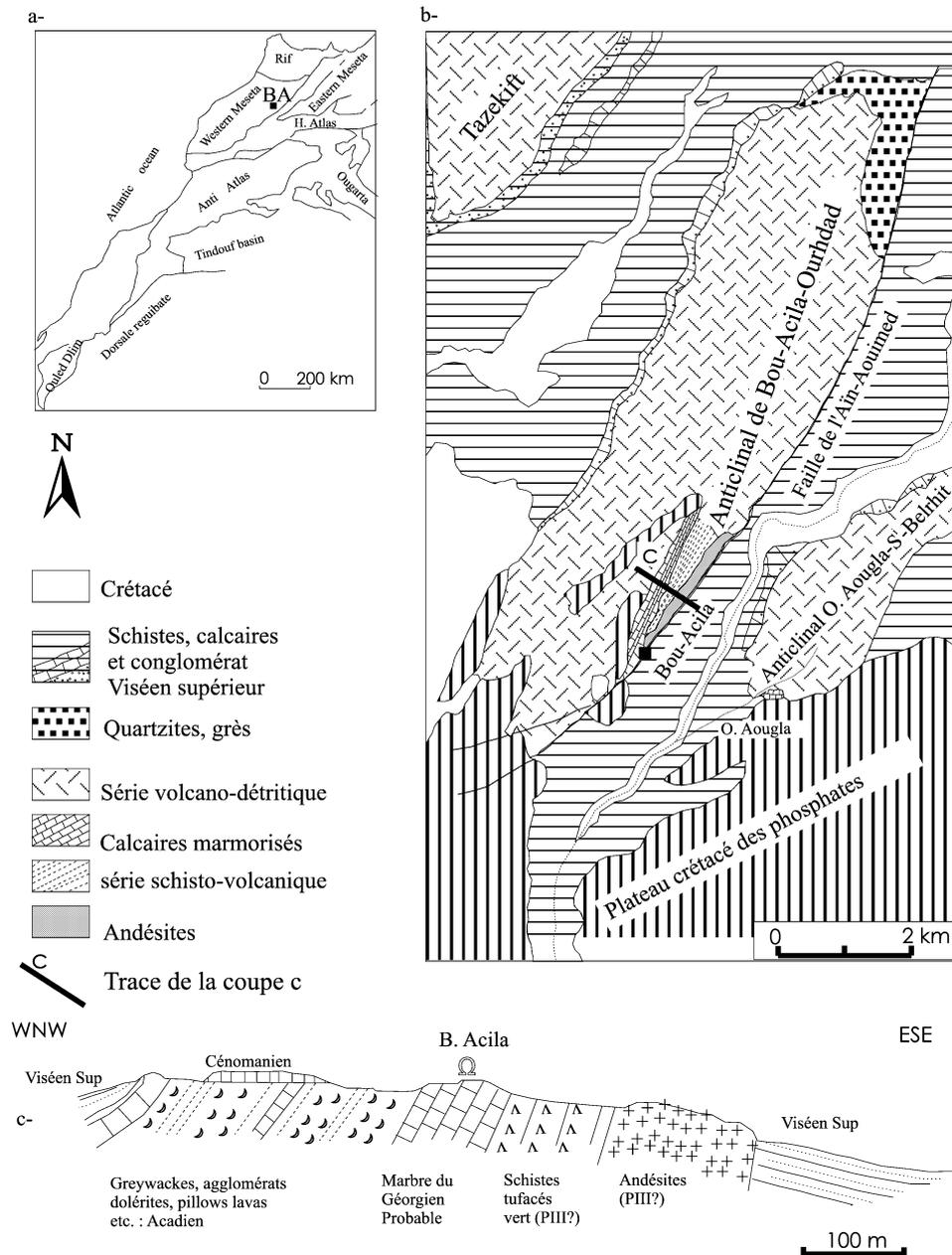


Fig. 1. Situation du secteur d'étude (a) ; carte géologique simplifiée (b) et coupe schématique de la région de Bou-Acila (c) [12].

Fig. 1. Location of the studied sector (a); geological sketch map (b) and schematic section of the Bou-Acila zone (c) [12].

minéralogique primaire de ces métavolcanites : plagioclases, pyroxènes et minéraux opaques.

Les teneurs en éléments majeurs et en éléments en traces des roches représentatives de l'ensemble des métavolcanites dans la zone sud-est du Maroc central

sont présentées dans le Tableau 1. À l'exception des alcalins et du CaO, bien connus pour leur mobilité au cours des processus d'altérations postmagmatiques et métamorphiques, et qui montrent ici des fluctuations importantes, les autres éléments majeurs montrent de

bonnes corrélations avec le rapport Mg_i ($Mg_i = 100 \times Mg/(Mg + Fe^{2+})$ avec $Fe^{2+}/Fe^{3+} = 0,85$; Tableau 1). TiO_2 est compris entre 1,24 et 2,32%, ce qui classe ces roches dans les séries relativement pauvres en titane. Ces métavolcanites présentent des teneurs en Cr et en Ni faibles (<100 ppm pour le Cr et <50 ppm pour le Ni; cf. Tableau 1). Les faibles valeurs des teneurs en ces éléments et celles du rapport Mg_i suggèrent que le magma parent a déjà subi une cristallisation fractionnée. Ces roches montrent, en revanche, des teneurs relativement élevées en V (180 à 360 ppm) et en Sc (25 à 44 ppm).

L'utilisation des rapports Nb/Y et Zr/ TiO_2 [25] montre que la majorité des laves du Sud-Est du Maroc central correspondent à des basaltes andésitiques (Fig. 2). Les faibles valeurs du rapport Nb/Y ($0,1 < Nb/Y < 0,2$) les apparentent à des basaltes sub-alcalins (Fig. 2). Les rapports Ti/V ($30 < Ti/V < 50$; Tableau 1) sont similaires à ceux des tholéiites continentales, des MORB et des basaltes d'arrière-arc [21]. Ils les distinguent ainsi des basaltes alcalins, des basaltes calco-alcalins et des tholéiites d'arc.

Les métavolcanites considérées présentent des diagrammes de normalisation multi-élémentaires par rapport au manteau primitif [22], modérément enrichis en éléments les plus incompatibles, avec des rapports $(La/Yb)_{mp}$ variant de 1,3 à 2,3 (mp : normalisation par rapport au manteau primitif); une anomalie négative en Nb et Ta ($0,4 < (Nb/Th)_{mp} < 0,9$) ainsi qu'une anomalie négative en Sr, systématique pour tous les échantillons (Fig. 3). Malgré le caractère mobile du Sr, il peut correspondre, au moins pour partie, à un caractère originel de la roche et suggérer un fractionnement des plagioclases. Contrairement à ceux de Oued-Aougla et Bou-Ibenrharn, les échantillons de Bou-Acila montrent une nette anomalie négative en Ti (Fig. 3), corrélée avec de faibles teneurs en V (Tableau 1). Ils reflètent un fractionnement important des oxydes ferrotitanés. Le comportement du Rb et du Ba dans ces roches peut être lié aux processus d'altération postmagmatiques et métamorphiques.

4. Discussion et conclusion

Dans le diagramme $(Th/Ta)_{mp}-(Tb/Ta)_{mp}$ [23], qui fait appel à des éléments incompatibles, peu sensibles à l'altération, l'ensemble des métavolcanites de la

région sud-est du Maroc central se projette dans le champ commun des tholéiites continentales et des basaltes d'arrière-arc, et touche au champ des MORB de type N (Fig. 4). L'allure des spectres de normalisation par rapport au manteau primitif exclut la similitude de ces roches avec les MORB. Ce résultat est confirmé par le diagramme Th/Yb-Ta/Yb, qui, d'une part, montre que ces métavolcanites ne peuvent être assimilées à des MORB et, d'autre part, met en évidence une empreinte de subduction ou de contamination crustale (Fig. 5). Il est à noter que les diagrammes géotectoniques classiques sont à utiliser avec précaution, car ils ne permettent pas de distinguer avec précision les tholéiites continentales [2,20].

L'anomalie négative en Nb s'observe classiquement dans des volcanites mises en place dans un site orogénique [17] et en contexte de bassins d'arrière-arc [7]. Cette anomalie s'observe également dans certains domaines anorogéniques, tels que les domaines en distension intracontinentale [2,4]. Dans les métavolcanites de la zone sud-est du Maroc central, la faible anomalie négative en Nb ($0,4 < (Nb/La)_{mp} < 0,6$) et le faible fractionnement des terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ($1,3 < (La/Yb)_{pm} < 2,3$), ainsi que leur position dans le diagramme géotectonique $(Th/Ta)_{pm}-(Tb/Ta)_{pm}$ [23], excluent toute appartenance de ces métavolcanites à un site orogénique. Les caractères particuliers montrés par ces métavolcanites sont souvent interprétés comme des arguments en faveur d'une mise en place dans un site, en relation avec un bassin d'arrière-arc [7,9]. Une telle hypothèse pose le problème de la reconnaissance d'un arc contemporain de leur mise en place, arc dont aucune trace n'est connue au Maroc à cette époque. Par ailleurs, il est bien admis que les bassins d'arrière-arc se développent à proximité immédiate de l'arc et lui sont contemporains [8,10]. Ceci exclut de mettre en relation ce volcanisme mésétien avec un arc panafricain dans d'autres domaines du Maroc.

Une autre interprétation possible des caractères montrés par ces métavolcanites, l'anomalie négative en Nb et le léger enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ($1,3 < (La/Yb)_{mp} < 2,3$), serait à mettre en relation avec une contamination crustale d'un magma mantellique [2,4, 9]. Cette hypothèse serait en accord avec une mise en place de ces roches dans un site distensif intracontinental. Des tholéiites continentales, à spectres relati-

Tableau 1

Composition chimique des roches étudiées. Analyses réalisées au laboratoire de dynamique de la lithosphère de l'université Claude-Bernard, Lyon-1, par fluorescence X (éléments majeurs et en traces) et à l'institut Dolomieu (Grenoble) par activation neutronique (terres rares, Th, Ta et Hf)

Table 1

Chemical composition of studied rocks. Analyses performed at the 'Dynamique de la lithosphère' Laboratory (Lyons, France) by X-ray fluorescence (major and trace elements) and at the Dolomieu Institute (Grenoble, France) by neutron activation (REE, Th, Ta and Hf)

	Oued-Aougla–Sidi-Belrhit											Bou-Acila					Bou-Ibenhar		
	H1b	H2	H2b	H4	H5	H6a	H6b	H7	H8	H9	H10	H11	B1	B3	B4	B5	B6	T2	T4
SiO ₂	55,91	49,00	48,85	47,74	49,89	56,01	46,79	52,43	51,74	50,76	50,05	50,12	59,19	55,09	54,96	50,93	45,52	51,60	48,59
Al ₂ O ₃	13,26	14,80	14,98	13,94	15,71	14,37	15,42	13,06	13,49	14,38	14,59	14,34	13,11	14,45	13,89	13,28	14,13	15,66	14,91
Fe ₂ O ₃	10,72	13,43	11,16	13,93	13,12	11,70	12,78	10,33	12,38	12,06	13,56	13,08	7,59	11,01	9,95	10,33	10,72	10,72	13,71
MnO	0,14	0,21	0,18	0,22	0,18	0,20	0,19	0,16	0,17	0,20	0,19	0,19	0,16	0,21	0,17	0,18	0,20	0,18	0,20
MgO	3,92	4,89	5,99	6,07	5,24	3,78	5,65	3,01	4,41	4,27	4,32	5,02	3,62	5,11	4,73	5,12	4,72	5,50	6,66
CaO	7,36	5,14	5,58	7,49	4,47	3,16	7,22	6,85	6,65	7,30	7,60	6,74	6,84	4,63	7,57	6,96	10,59	6,96	6,13
Na ₂ O	3,77	4,07	3,84	3,10	4,92	3,70	3,57	4,21	3,92	3,88	3,03	4,44	5,18	5,42	4,70	4,42	4,26	4,24	3,54
K ₂ O	0,42	0,35	0,24	0,98	0,35	0,45	0,83	0,06	0,62	0,99	0,77	0,34	0,33	0,15	0,32	0,24	0,29	0,62	0,49
TiO ₂	1,57	1,88	1,60	2,06	2,04	1,83	2,12	2,02	2,05	2,22	2,32	2,28	1,30	1,24	1,39	1,54	1,59	1,33	1,89
P ₂ O ₅	0,20	0,22	0,20	0,24	0,25	0,21	0,24	0,27	0,28	0,29	0,31	0,26	0,18	0,14	0,16	0,17	0,16	0,18	0,19
P.F.	2,10	4,95	5,97	3,39	2,85	3,90	4,21	5,79	2,83	2,66	2,99	2,24	2,77	1,76	1,23	4,98	7,01	2,54	2,81
H ₂ O	0,10	0,13	0,07	0,10	0,11	0,03	0,09	0,06	0,10	0,12	0,05	0,01	0,04	0,05	0,05	0,06	0,02	0,05	0,10
Total	99,47	99,07	98,66	99,26	99,13	99,34	99,11	98,25	98,64	99,13	99,78	99,06	100,31	99,26	99,12	98,21	99,21	99,58	99,22
Mg_i	42	42	52	47	44	39	47	37	42	41	39	43	49	48	49	50	47	51	49
Y	30	35	32	46	37	46	42	39	41	42	45	39	51	42	51	31	28	27	33
Sr	123	237	234	207	178	170	287	184	240	279	494	82	59	70	105	121	140	93	131
Rb	5	6	4	9	4	7	8	1	4	10	9	3	2	1	1	2	3	8	6
Zr	128	138	126	161	156	209	174	180	187	196	206	174	247	208	250	118	107	123	140
Nb	4	6	5	5	6	6	6	7	5	6	7	6	7	6	7	3	3	5	4
Ga	11	21	16	20	18	18	16	15	22	23	19	19	16	18	25	12	12	18	19
Cu	60	40	59	60	10	29	1	49	22	29	6	23	14	2	33	67	61	7	47
Ni	19	49	29	28	25	25	27	17	15	19	20	18	29	28	40	38	42	27	32
Co	38	53	51	50	48	41	47	37	40	37	47	45	27	36	34	41	40	41	53
Cr	28	183	64	82	40	43	92	30	22	29	29	22	57	39	97	119	59	59	78
V	298	363	294	314	317	314	309	310	303	333	330	363	180	226	218	308	296	272	358
Ba	112	260	676	380	150	168	250	614	443	257	194	56	19	19	26	89	52	175	55
Sc	27	38	35	41	35	32	41	29	31	32	33	31	26	29	32	33	39	33	44
Th	0,62				0,79				0,87			0,70		1,42	1,70				1,20
Ta	0,26				0,32				0,39			0,35		0,41	0,52				0,32
Hf	2,79				3,66				4,33			4,35		5,44	6,69				2,95
Ti/V	31,6	31,1	32,6	39,3	38,6	35,0	41,1	39,1	40,6	39,9	42,2	37,7	43,4	32,9	38,3	30,0	32,2	29,3	31,6
La	7,73				10,08				11,71			7,13		9,47	10,87				8,43
Ce	21,98				26,57				30,82			21,01		26,56	31,54				22,77
Pr	3,36				4,03				4,53			3,30		3,98	4,78				3,33
Nd	15,69				19,17				21,16			16,04		18,38	21,82				15,40
Sm	4,25				5,24				5,82			4,80		5,25	6,14				4,42
Eu	1,28				1,64				1,87			1,33		1,21	2,09				1,60
Gd	4,93				6,21				6,84			5,86		6,15	7,20				5,16
Tb	0,82				1,05				1,13			1,06		1,11	1,33				0,93
Dy	5,16				6,54				6,99			6,88		7,11	8,69				5,90
Ho	1,09				1,37				1,52			1,47		1,50	1,93				1,24
Er	3,05				3,81				4,13			4,22		4,33	5,66				3,47
Yb	2,61				3,33				3,65			3,93		4,10	5,44				3,09

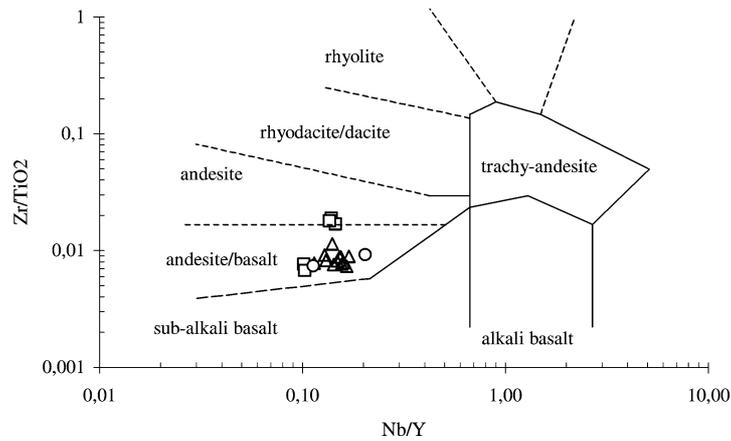


Fig. 2. Position des métavolcanites de la région Sud-Est du Maroc central dans le diagramme $Zr/TiO_2-Nb/Y$ [23]. Bou-Acila (carré), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (cercle).

Fig. 2. Position of the southeastern central Morocco metavolcanic rocks in the $Zr/TiO_2-Nb/Y$ [23]. Bou-Acila (square), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (circle).

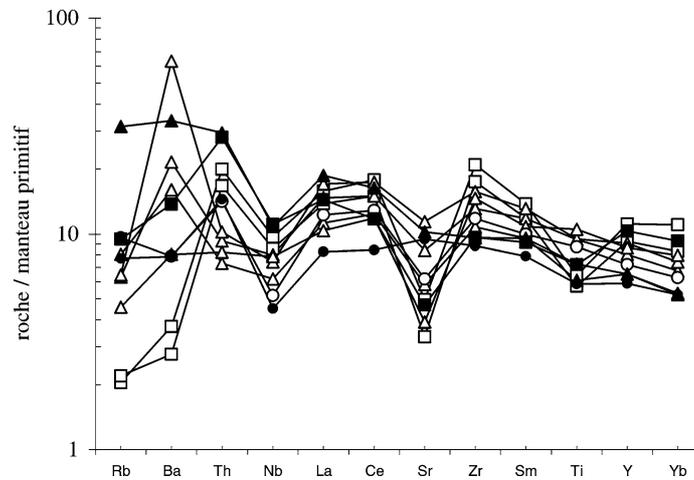


Fig. 3. Distribution des éléments incompatibles normalisés au manteau primitif [20] dans les métavolcanites de la zone sud-est du Maroc central. Bou-Acila (carré), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (cercle). Comparaison avec les tholéiites continentales (triangle plein), les basaltes d'arrière-arc (cercle plein) [9] et des tholéiites continentales triasiques du Maroc (carré plein) [2].

Fig. 3. Primitive mantle-normalised incompatible elements distribution [20] in the southeastern central Morocco metavolcanic rocks. Bou-Acila (square), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (circle). Comparison with a continental tholeiite (black triangle), back-arc basalts (black circle) [9] and a Moroccan Triassic continental tholeiite (black square) [2].

vement plats, peuvent être produites par un fort degré de fusion partielle du manteau, probablement dû à un fort amincissement lithosphérique; c'est l'hypothèse qui a été retenue pour certaines tholéiites continentales mésozoïques du Maroc [2]. Ces dernières montrent un enrichissement relatif en Th, une anomalie négative en

Nb, et présentent un rapport $(La/Yb)_{mp}$ voisin de 1,5 (Fig. 3).

Au Maroc, les tholéiites continentales cambriennes de la zone sud-est du Maroc central ne représentent pas un cas isolé. En effet, on connaît, dans la région de l'Ouneïne (massif paléozoïque du Haut-Atlas occiden-

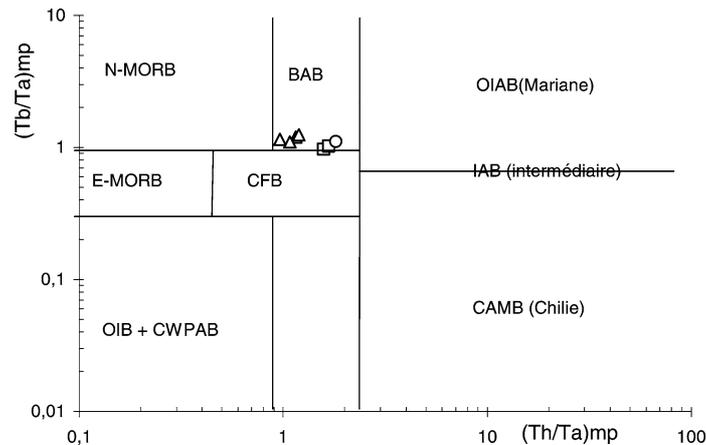


Fig. 4. Diagramme $(Tb/Ta)_{mp}$ – $(Th/Ta)_{mp}$ [21] pour les métavolcanites étudiées. Bou-Acila (carré), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (cercle). **OIB** : Basaltes des îles océaniques ; **CWPAB** : basaltes alcalins intracontinentaux ; **CFB** : tholéiites continentales ; **BAB** : basaltes d'arrière-arc ; **IAB** : basaltes d'arc insulaire ; **OIAB** : basaltes d'arc intra-océanique ; **CAMB** : basaltes d'arc de marges de type Chili ; **IAB** : basaltes d'arc intermédiaire.

Fig. 4. Position of the studied rocks in the $(Tb/Ta)_{mp}$ – $(Th/Ta)_{mp}$ [21]. Bou-Acila (square), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (circle). **OIB**: Oceanic island basalts; **CWPAB**: continental within plate alkali basalts; **CFB**: continental tholeiites; **BAB**: back-arc basalts; **IAB**: island-arc basalts; **OIAB**: intra-oceanic-arc basalts; **CAMB**: Chilean-type arc basalts; **IAB**: intermediate-arc basalts.

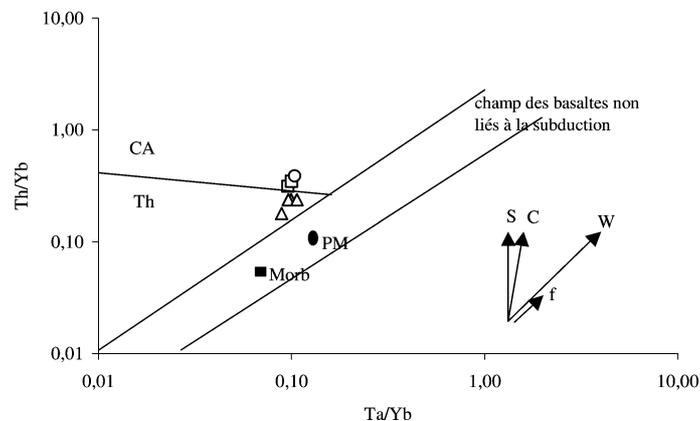


Fig. 5. Diagramme Th/Yb – Ta/Yb des roches étudiées [17]. Bou-Acila (carré), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (cercle). **CA** : Calc-alkaline ; **Th** : tholéiitique ; **S** : enrichissement lié à la zone de subduction ; **C** : contamination crustale ; **W** : enrichissement intraplaque ; **f** : cristallisation fractionnée ($f = 0,5$).

Fig. 5. The Th/Yb – Ta/Yb ratios values of studied rocks [17]. Bou-Acila (square), Oued-Aougla (triangle), Bou-Ibenrhar (circle). **CA**: Calc-alkaline; **Th**: tholeiitic; **S**: subduction enrichment; **C**: crustal contamination; **W**: within plate enrichment; **f**: fractional crystallisation ($f = 0.5$).

tal), un volcanisme cambrien à signature géochimique de tholéiites continentales [1,16]. De même, dans la région de Taghwacht, Essalhi [5] et Ouazzani [16] décrivent des basaltes tholéiitiques qui présentent les caractères géochimiques des tholéiites continentales.

En conclusion, les caractères géochimiques particuliers montrés par ces métavolcanites et l'absence

d'arc cambrien au Maroc rendent improbable leur appartenance à un magmatisme mis en place dans un environnement d'arc. En revanche, leur ressemblance avec certaines tholéiites continentales mésozoïques du Maroc, leurs analogies avec le volcanisme cambrien dans le Haut-Atlas et l'identité du site de mise en place avec celui des volcanites cambriennes de Sidi-Saïd

Maâchou, ainsi que celui des amphibolites de la boutonnière paléozoïque de Midelt, sont en faveur d'un volcanisme distensif, à caractère de tholéiites continentales mises en place dans un site intracontinental. Ce résultat, appuyé par d'autres, d'ordres sédimentologique et structural, obtenus ailleurs, dans la Meseta [18] et dans l'Anti-Atlas [19], conforte notre hypothèse d'un épisode distensif au Cambrien à l'intérieur du Gondwana [13–15].

Remerciement

Les corrections suggérées par le professeur Alain Piqué, un rapporteur de cet article, nous ont été très profitables et ont contribué à l'amélioration du manuscrit.

Références

- [1] L. Badra, Les minéralisations polymétalliques (Pb, Zn, Cu, Ba) du haut Atlas occidental marocain et de ses confins dans leur cadre géodynamique, Thèse d'État, Université d'Orléans, 1993, 415 p.
- [2] H. Bertrand, The Mesozoic tholeiitic province of Northwest Africa. Record of the Early opening of central Atlantic, in: A.B. Kampunzu, R.T. Lubala (Eds.), Magmatism in extensional structural setting, the Phanerozoic African Plate, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1991, pp. 147–188.
- [3] J. Destombes, A. Jeannette, Mémoire explicatif de la carte géotechnique de la Meseta côtière à l'est de Casablanca au 1:50 000. Région de Mohammedia, Bouznika, Ben-Slimane, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc 180 (1966) 1–104.
- [4] C. Dupuy, J. Dostal, Trace elements geochemistry of some continental tholeiites, Earth Planet. Sci. Lett. 87 (1984) 100–110.
- [5] A. Essalhi, Processus hydrothermaux liés à la zone de faille de Tizi-N'Test : genèse des albitites et des concentrations de barytine dans la région de Taghwacht (haut Atlas occidental, Maroc), thèse, université d'Orléans, 1993, 202 p.
- [6] M. Gigout, Le volcan sous-marin d'âge Acadien de Sidi-Saïd Maâchou (Maroc occidental), Bull. Soc. géol. France 6 (1956) 559–574.
- [7] R.F. Gribble, R.J. Stern, S. Newman, S.H. Bloomer, T. O'Hearn, Chemical and isotopic composition of lavas from the Northern Mariana trough: implications for magma genesis in back-arc basins, J. Petrol. 39 (1) (1998) 125–154.
- [8] J.W. Hawkins, S.H. Bloomer, C.A. Evans, J.T. Melchior, Evolution of intra-oceanic arc-trench systems, Tectonophysics 102 (1984) 175–205.
- [9] P.E. Holm, The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hygromagmatophile element abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites, Chem. Geol. 51 (1985) 303–323.
- [10] D.E. Karig, Origin and development of marginal basins in the Western Pacific, J. Geophys. Res. 76 (1971) 2452–2561.
- [11] G. Lecointre, Recherches géologiques dans la Meseta marocaine, Mém. Soc. Sci. Nat. Maroc 14 (1926) 1–158.
- [12] P. Morin, Les marbres d'origine métamorphique du Maroc central (géologie et problèmes d'exploitation), Mines et géologie, Rabat 11 (1960) 559–574.
- [13] H. Ouali, Le paléovolcanisme cambrien de la Meseta marocaine : caractérisation géochimique et implications géodynamiques, thèse d'État, université de Meknès, 2001.
- [14] 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.
- [15] 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 et Mém. Serv. Géol. Maroc 408 (2001) 177–181.
- [16] H. Ouazzani, Le paléovolcanisme des secteurs de Guedmioua et du Haut-Seksaoua (Massif ancien du Haut-Atlas occidental, Maroc) : témoins d'un contexte convergent, thèse d'État, université de Meknès, 2001.
- [17] J.A. Pearce, S.J. Lipard, S. Roberts, Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites, in: B.P. Kerkelaar, M.F. Howells (Eds.), Marginal Basin Geology, Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 16 (1984) 77–94.
- [18] A. Piqué, M. Bouabdelli, J.-R. Darboux, Le rift cambrien du Maroc occidental, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 320 (1995) 1017–1024.
- [19] A. Piqué, M. Bouabdelli, A. Soulaïmani, N. Youbi, M. Iliani, Les conglomérats du PIII (Néoprotérozoïque supérieur) de l'Anti-Atlas (Sud du Maroc) : molasses panafricaines, ou marqueurs d'un rifting fini-protérozoïque ?, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 328 (1999) 409–414.
- [20] T. Prestvik, G.G. Gole, Comments on petrogenesis and the tectonic setting of Columbia River basalts, Earth Planet. Sci. Lett. 72 (1985) 65–73.
- [21] J.W. Shervais, Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas, Earth Planet. Sci. Lett. 59 (1982) 101–118.
- [22] S.S. Sun, W.F. McDonough, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes, in: A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.), Magmatism in the oceanic basins, Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 145 (1989) 999–1007.
- [23] D. Thiéblemont, P. Chèvremont, C. Castaing, C. Triboulet, J.-L. Feybesse, La discrimination géotectonique des roches magmatiques basiques par les éléments traces. Réévaluation d'après une base de données et application à la chaîne panafricaine du Togo, Geochim. Cosmochim. Acta 7 (3) (1994) 139–157.
- [24] Y. Verset, Mémoire explicatif de la carte géologique du Maroc au 1:100 000, feuille de Quasbat-Tadla, Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc 240 (1988) 1–132.
- [25] 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.