



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 335 (2003) 959–967



Géomatériaux (Pétrologie)

## Les granitoïdes hercyniens post-collisionnels du Maroc oriental : une province magmatique calco-alcaline à shoshonitique

Hassan El Hadi <sup>a</sup>, Abdelfatah Tahiri <sup>b,\*</sup>, Aicha Reddad <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Département des sciences de la Terre, faculté des sciences Ben-Msik, université Hassan-II-Mohammedia, BP 7955, bd Driss El Harti, Casablanca, Maroc*

<sup>b</sup> *Département de géologie Institut scientifique, Charia Ibn Battota, BP 703, Rabat-Agdal, Maroc*

<sup>c</sup> *Département de géologie, faculté des sciences et techniques Guéliz, BP 618, Marrakech, Maroc*

Reçu le 13 janvier 2003 ; accepté le 15 septembre 2003

Présenté par Jean Dercourt

### Résumé

Les granitoïdes hercyniens post-collisionnels affleurent dans la partie orientale de la chaîne hercynienne du Maroc. L'étude pétrographique et géochimique comparée permet de rendre compte d'une ressemblance de composition entre les différentes intrusions. Ces granitoïdes appartiennent à des associations magmatiques peralumineuses à cafémiqes, évoluant suivant des lignées similaires à celles des associations calco-alcalines fortement potassiques à shoshonitiques. **Pour citer cet article :** *H. El Hadi et al., C. R. Geoscience 335 (2003).*

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**The post-collisional Hercynian granitoids from eastern Morocco: a calc-alkaline to shoshonitic magmatic province.** The post-collisional Hercynian granitoids crop out in the easternmost part of the Moroccan Hercynian belt. Petrographical and geochemical studies show a composition similarity in the various granitoids. The granitoids belong to per-aluminous and metaluminous magmatic associations. They have evolved according to a scheme similar to high-K calc-alkaline to shoshonitic associations. **To cite this article:** *H. El Hadi et al., C. R. Geoscience 335 (2003).*

© 2003 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

*Mots-clés :* Maroc ; granitoïdes hercyniens ; post-collisionnels ; calco-alcalin ; shoshonitique

*Keywords:* Morocco; Hercynian granitoids; post-collisional; calc-alkaline; shoshonitic

### Abridged English version

In eastern Morocco, Hercynian granitoid plutons are cropping out in arranged, isolated, or grouped mas-

sifs complexes (Fig. 1). Most of these massifs, which intruded different levels of Palaeozoic series, present concentric structure and crosscut the Hercynian tectonic structures [14].

Rb–Sr dating [18] display emplacement ages ranging between 330 to 250 Myr. The Aouli, Tarilest and Merguechoum granodiorites seem to be the earliest

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [tahiri@israbat.ac.ma](mailto:tahiri@israbat.ac.ma) (A. Tahiri).

granitoid magmatism in the area, while the biotite-bearing granite of Beni-Snassène and Boudoufoud are the youngest ones (Table 1).

This work is based on petrographical and geochemical data that we gathered on the Zekkara, Tarilest, Beni-Snassène and Boudoufoud massifs. Those of other neighbouring massifs (Alouana, Aouli, Merguechoum, Tannecherfi, and Hassiane Diab) were collected from published studies and used to infer their petrogenetic history and the tectonic setting in which the acidic magmas were emplaced (Table 1).

The petrographical association of Tarilest, which is composed of quartzic diorites, granodiorites, and microgranodiorites, is similar to the Zekkara granitoid, except that this latter includes tonalites. Nonetheless, Boudoufoud and Beni-Snassène granitoids consist exclusively of biotite-bearing granodiorite. All these associations are intruded by late leucogranitic protrusions. The granitic massifs of Alouana, Aouli, Merguechoum, and Tannecherfi, present similarities with Tarilest and Zekkara granitoids. The Hassiane Diab massif displays petrographical affinities with Beni-Snassène and Boudoufoud granitoids (Table 1).

The massifs of Tarilest, Zekkara, Alouana, Aouli, Merguechoum and Tannecherfi are characterized by amphibole and biotite, while those of Beni-Snassène, Boudoufoud and Hassiane Diab only contain biotite (Table 1).

All studied granitoids are affected by the same hydrothermal alteration event that is expressed by the sericitization, albitization and epidotitization of feldspars as well as by the chloritization of amphibole and biotite.

In the aluminium balance diagram of Debon and Lefort [6], the granodiorite and the biotite-bearing leucogranite of Beni-Snassène are within the domain II corresponding to the peraluminous granites where the Boudoufoud and Hassiane Diab biotite-bearing granite also exist. However, the association of Tarilest, Alouana and Aouli is of a cafemic nature and has a metaluminous character. That of Zekkara, Tannecherfi, and Merguechoum cafemic massifs is metaluminous to slightly peraluminous. Quartzic diorite and tonalite penetrate into the peraluminous domain. It is also to be noted that the majority of associations is distinctly in the peraluminous domain.

Most rocks are predominantly high-K calc-alkaline (Fig. 2). Some altered samples are located into the low to medium potassic fields.

Chondrite-normalized REE patterns of six granitoid massifs display similar distributions and abundances (Fig. 3). They are sub-parallel and all LREE enriched; the  $(La/Yb)_N$  ratio varies from 3 to 16. The Eu negative anomaly is more or less pronounced.

Granitoids of eastern Morocco are either arranged in biotite series (Boudoufoud, Beni-Snassène and Hassiane Diab), or in amphibole series (Tarilest, Zekkara, Tannecherfi, Merguechoum, Alouana and Aouli). These two groups, marking a zonality, are situated according to two nearly parallel alignments and oriented slightly NE–SW.

In different plots, the behaviour of different granitoids suggests that these rocks belong probably to the same family with high-K to shoshonitic calc-alkaline granitoids in spite of age differences.

This zoneography, which expresses an evolution of set-up ages and a degree of differentiation toward the north, has already been demonstrated by the zircon typology study [8]. Similar sources are presumably the origin of numerous liquids of different compositions that are spread in time and that sourced the granitoids of the eastern Meseta. High Rb/Zr and Nb/Zr ratios suggest a genesis of all granitoids massifs in the post-collisional context (Figs. 4 and 5).

Also, this zoneography (biotite-bearing facies and amphibole-bearing facies) along NE–SW lineaments may express trending of lithospheric shear zones in this Moroccan Hercynian belt.

## 1. Introduction

Au Maroc oriental, les granitoïdes hercyniens comptent une dizaine de plutons en massifs isolés ou groupés en de vastes complexes. Ce sont les granites de Zekkara, des Beni-Snassène, de Tarilest, de Merguechoum, de Boudoufoud, de Tannecherfi, d'Aouli, de Hassiane Diab et de Alouana (Fig. 1). Ces massifs granitiques et leur encaissant ont fait l'objet de plusieurs études antérieures, structurales [14,16,17], pétrographiques [1–3,12,20,28,30] et isotopiques [5,15,20,21,26,32]. Les âges Rb/Sr sur roches totales [18], U/Pb sur zircon [21], Rb/Sr et Sm/Nd [1],

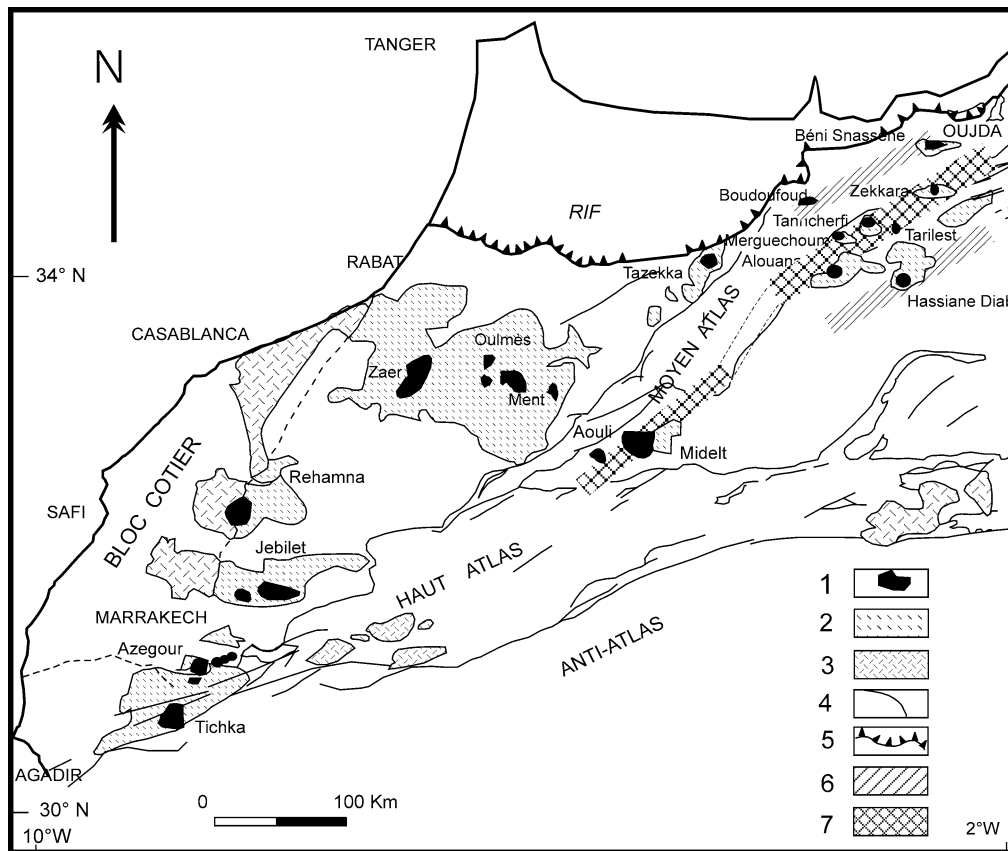


Fig. 1. Les granitoïdes hercyniens marocains dans leur cadre structural. 1 : Granitoïdes, 2 : terrains paléozoïques à plissements namuro-westphaliens et localement à nappes syn- à tardi-sédimentaires, 3 : Paléozoïque peu déformé, 4 : accidents majeurs, 5 : front de charriage, 6 : zone de granitoïdes à biotite, 7 : zone de granitoïdes à amphibole.

Fig. 1. Hercynian Granitoids of Morocco in their structural setting. 1: Granitoids, 2: Palaeozoic deposits with Namuro-Westphalian folding and locally syn- to late-sedimentary nappes, 3: low-deformed Palaeozoic, 4: major accidents, 5: thrust front, 6: biotite-granitoid zone, 7: amphibole-granitoid zone.

Rb/Sr sur roches totales [32] de ces corps granitiques s'échelonnent depuis 330 jusqu'à 250 Ma [18]. Les premières générations de granites correspondent aux granodiorites d'Aouli, de Tarilest et de Merguechoum, les plus jeunes étant les granites à biotite des Beni Snassène (Tableau 1). Tous les granites étudiés susmentionnés sont postérieurs au métamorphisme régional de faible degré daté à 370 Ma dans la haute Moulouya [5,15]; toutefois, la granodiorite d'Aouli (330 Ma) serait syn- (?) à post-métamorphisme [11].

Par ailleurs, trois suites magmatiques calco-alcaline, sub-alcaline et peralumineuse ont été distinguées sur

la base d'une étude sur les éléments majeurs et la typologie de la biotite [12].

Les données pétrographiques et géochimiques réalisées sur les massifs de Zekkara, Tarilest, Beni-Snassène [8,9] et Boudoufoud [10], jointes, d'une part, aux données qui existent sur les massifs de Alouana [30], Merguechoum [3], Tannecherfi [1] Aouli [20,21] et Hassiane Diab [27] et, d'autre part, aux nouveaux diagrammes présentés ici suggèrent (c'est l'objet de cette note) que ces roches, malgré la différence d'âge et la répartition géographique, semblent appartenir à une même famille de granites essentiellement calco-alcalins, fortement potassiques à shoshonitiques.

Tableau 1  
Principales caractéristiques des granitoïdes de la Meseta marocaine orientale

Table 1  
Main characteristics of the granitoids of eastern Moroccan Meseta

	Zekkara	Tarilest	Béni-Snassène	Boudoufoud	Tanncherfi	Alouana	Merguechoum	Hssaine Diab	Haute-Moulouya (Aouli)
Type	diorite quartzique, tonalite, granodiorite	diorite quartzique, granodiorite, leucogranite	granodiorite, leucogranite	granite à biotite, leucogranite	granodiorite, granite à biotite et amphibole	granodiorite, monzonite, monzogranite	diorite, tonalite, monzogranite, granite	granodiorite, microtonalite	granodiorite, granite
Âge (Ma)	287 ± 8	328 ± 19	247 ± 7	259 ± 11	286 ± 10	284 ± 7	321 ± 15	284 ± 7	333 ± 2
Rapport Isri	0,7087 ± 0,0001 [18]	0,7057 ± 0,0003 [18]	0,7080 ± 0,0001 [18]	0,7092 ± 0,0003 [18]	0,7049 ± 0,0001 [1]	0,7059 ± 0,0017 [31]	0,7050 ± 0,0002 [18]	0,7059 ± 0,0007 [31]	[20]
Encaissant (âge)	gréso-pélimitique (Ordovicien-Silurien)	silto-gréseux (Paléozoïque indéterminé)	schisto-gréseux (Dévonien inférieur)	schisto-gréseux (Dévonien inférieur)	silto-gréseux (Paléozoïque indéterminé)	silto-pélimitique, psammite, phyllades (Tournaisien-Viséen)	silto-gréseux (Paléozoïque indéterminé)	schisteux (Paléozoïque inférieur)	schisteux (Cambro-Ordovicien)
Minéraux clés	plagioclase, An45–An14, magnésio-hornblende, biotite	plagioclase, An40–An30, augite, magnésio-hornblende, biotite	plagioclase, An35–An28, oligoclase, biotite	plagioclase, < An20, biotite	plagioclase, An42–An38, amphibole, biotite	plagioclase, amphibole, biotite	plagioclase, amphibole, biotite	plagioclase, An40–An30, biotite	plagioclase (An48–An35), pyroxène, amphibole, biotite
Enclaves magmatiques	tonalite-diorite	diorite	tonalite-diorite	?	tonalite	tonalite, granodiorite	tonalite	?	tonalite, diorite
Association magmatique	calco-alcalin K	calco-alcalin K peralumineux	calco-alcalin K peralumineux	calco-alcalin K	shoshonitique	calco-alcalin K	calco-alcalin K	calco-alcalin K peralumineux	shoshonitique
Origine	hybride	hybride	hybride	hybride	mantellique	hybride	hybride	hybride	hybride

## 2. Pétrographie

Les granites des massifs de Zekkara, Tarilest, Boudoufoud et de Beni-Snassène contiennent tous les types de faciès qu'on peut rencontrer dans ce domaine. Les caractéristiques de ces massifs ainsi que celles d'autres massifs voisins dont les données sont disponibles ont été reportées dans le Tableau 1.

L'association pétrographique de Tarilest comporte des diorites quartziques, des granodiorites et des microgranodiorites. Elle est comparable à celle de Zekkara, qui comprend en plus des tonalites. En revanche, les granites de Boudoufoud et de Beni-Snassène sont formés exclusivement de granodiorite à biotite seule. Toutes ces associations sont traversées par des protrusions leucogranitiques tardives. Les autres massifs, ceux de Alouana, Merguechoum et Tannecherfi s'apparentent aux granites de Tarilest et Zekkara, mais contiennent, de plus, des faciès monzogranitiques. Le massif de Hassiane Diab présente des analogies de faciès avec les massifs de Beni-Snassène et Boudoufoud (Tableau 1).

Sur le plan minéralogique, dans les massifs de Tarilest, de Zekkara, d'Alouana, d'Aouli, de Merguechoum et de Tannecherfi, les faciès granitiques sont caractérisés par l'amphibole et la biotite; en revanche, ceux de Beni-Snassène, de Boudoufoud et de Hassiane Diab renferment exclusivement de la biotite (Tableau 1).

Tous les granitoïdes étudiés sont affectés par le même processus d'altération hydrothermale, qui se traduit par la séricitisation, l'albitisation et l'épidotisation des feldspaths et aussi par la chloritisation des amphiboles et des biotites. Toutefois, cette altération ne masque pas les caractères originaux des roches étudiées. La plupart des muscovites observées dans les faciès granitiques sont d'origine secondaire [8].

## 3. Géochimie

Dans le diagramme du bilan alumineux de Debon et Lefort [6], la granodiorite et le leucogranite à biotite de Beni-Snassène sont dans le domaine II, correspondant aux granites peralumineux. Le granite à biotite de Boudoufoud et Hassiane Diab se trouve aussi dans le même champ. Cependant, l'association de Tarilest et Alouana est de nature cafémique et a un caractère

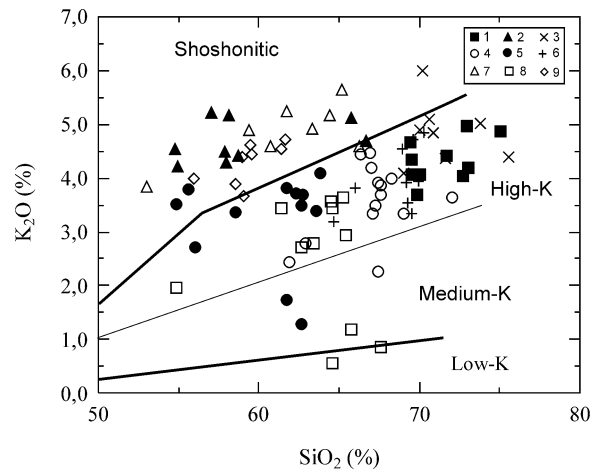


Fig. 2. Les granitoïdes de la Meseta orientale dans le diagramme  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  [23]. Sources de données : (1) Alouana [31], (2) Tannecherfi [1], (3) Boudoufoud, (4) Beni-Snassène, (5) Tarilest, (6) Hassiane Diab [27], (7) Merguechoum [3], (8) Zekkara, (9) Aouli [20].

Fig. 2. The granitoids of eastern Meseta in the  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  diagram [23]. Data sources: (1) Alouana [31], (2) Tannecherfi [1], (3) Boudoufoud, (4) Beni-Snassène, (5) Tarilest, (6) Hassiane Diab [27], (7) Merguechoum [3], (8) Zekkara, (9) Aouli [20].

métalumineux. Celle de Zekkara, Aouli, Tannecherfi et Merguechoum, aussi cafémique, est de caractère métalumineux à légèrement peralumineux. La diorite quartzique et la tonalite s'enracinent dans le domaine peralumineux.

Le diagramme  $\text{K}_2\text{O}$  en fonction de  $\text{SiO}_2$  de Pecerillo et Taylor [23] montre que la majorité des granites étudiés ont des teneurs élevées en potassium et sont typiquement calco-alcalins, fortement potassiques à légèrement shoshonitiques, avec un rapport  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 0,5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  variant entre 2 et 6 % (Fig. 2). Ce sont les roches les plus récentes qui sont les plus riches en potassium, sauf pour quelques échantillons altérés, qui se placent dans les domaines faiblement ou moyennement potassiques. Les fortes valeurs en  $\text{K}_2\text{O}$  représentent essentiellement un enrichissement en biotite et plus ou moins en feldspath potassique. Les échantillons les plus riches en biotite montrent un caractère fortement K typique.

Les données de terres rares normalisées aux chondrites de Nakamura [19] montrent que les granitoïdes étudiés ont des distributions et des abondances presque similaires. Les spectres sont sub-parallèles et présentent des rapports  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  voisins (3 à 16). Tous les

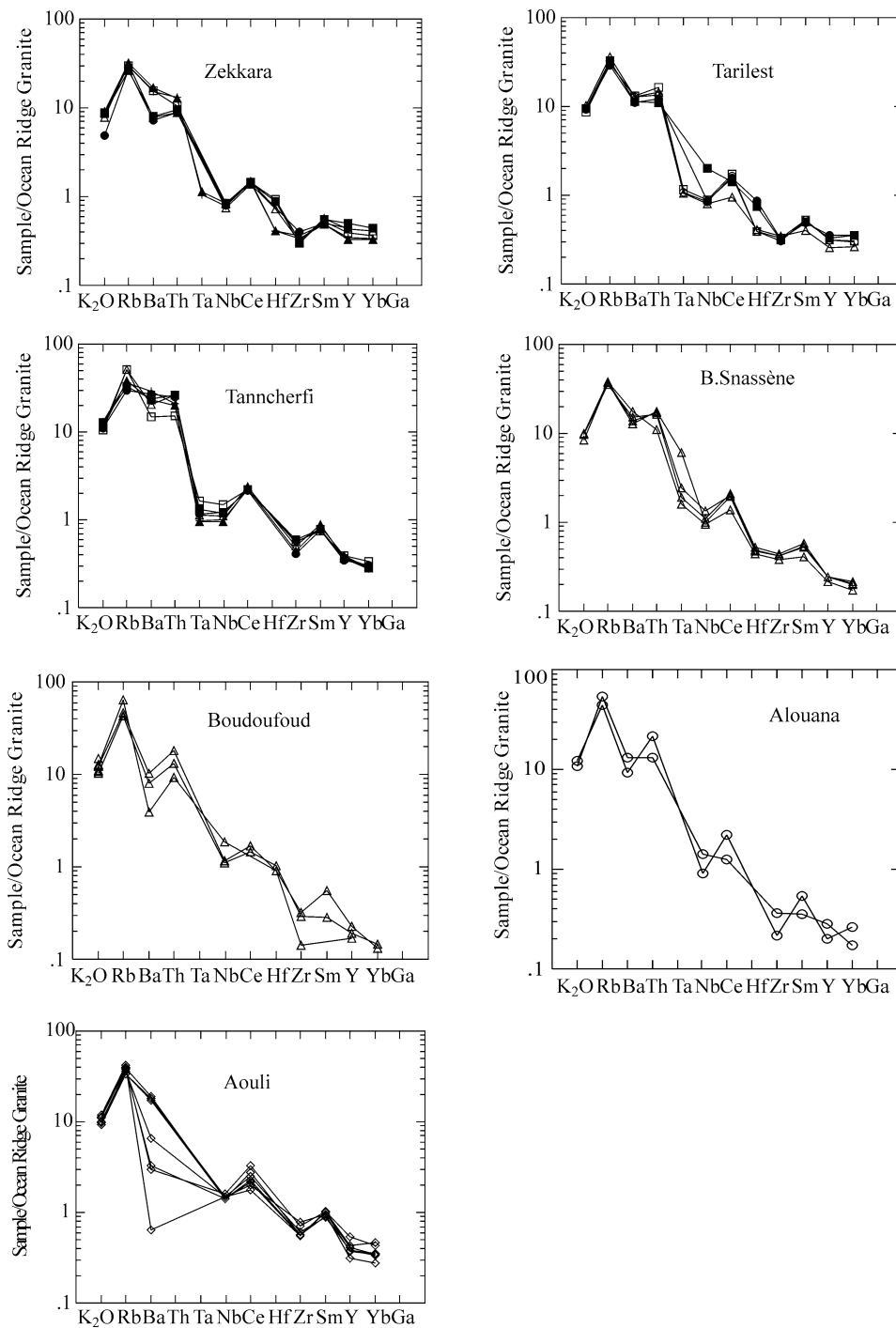


Fig. 3. Éléments traces normalisés par rapport aux ORG des granitoïdes de la Meseta orientale [22].

Fig. 3. ORG-normalized trace element granitoids from the eastern Meseta [22].

échantillons montrent un fractionnement plus important des terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes caractéristiques des séries calco-alcalines. Il n'y a pas de fractionnement de terres rares lourdes. L'anomalie en Eu est insignifiante.

Dans les diagrammes multi-élémentaires normalisés aux ORG (Fig. 3), les spectres présentent un enrichissement en LILES et LREE, avec des anomalies négatives en Nb, Ta et Zr typiques des magmas de zones de subduction. Le Ba montre une anomalie négative entre les éléments adjacents Rb et Th. Dans le massif de Boudoufoud, cette anomalie est très significative, à cause probablement des effets d'une altération hydrothermale.

#### 4. Discussion–conclusion

Les granitoïdes du Maroc oriental s'organisent, soit en séries à biotite (Boudoufoud et Beni-Snassène, Hassiane Diab), soit en séries à amphibole (Tarilest, Zekkara et Tanncherfi, Merguechoum, Alouana et Aouli). Ces deux groupes marquent une zonalité et se disposent suivant deux alignements presque parallèles, qui sont orientés sensiblement NE–SW.

Le comportement des différents granitoïdes dans les divers diagrammes suggère que ces granitoïdes présentent deux types d'affinité : calco-alcalins fortement potassiques (Tarilest, Zekkara, Alouana, Boudoufoud et Beni-Snassène) et shoshonitiques (Tanncherfi, Merguechoum et Aouli). Les granites sont enrichis en LREE et présentent systématiquement des anomalies en Nb et Ta par rapport aux TR caractéristiques des magmas orogéniques [4]. Ceci est interprété dans la chaîne des Andes (Mexique et Chili; par exemple [7]), qui est connue pour avoir évolué dans un environnement d'arc insulaire mature, comme un effet de la contamination crustale, effet d'autant plus important que la croûte continentale traversée est plus épaisse. Pour cette partie de la chaîne hercynienne marocaine, l'association des roches calco-alcalines et shoshonitiques à un environnement d'arc insulaire est peu probable (absence de vestiges de croûte océanique et de métamorphisme schiste bleu). Par conséquent, la pétrogenèse des roches doit être reliée à un plutonisme qui est contrôlé par des processus non associés à la subduction. Même l'hypothèse d'une subduction précoce, qui envisagerait la signature calco-alcaline–shoshonitique comme liée à la fusion partielle d'un

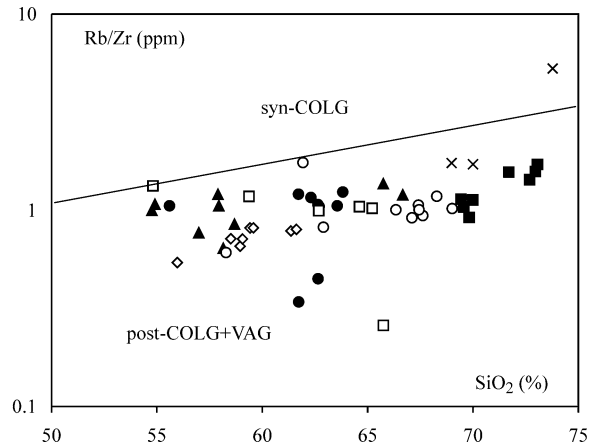


Fig. 4. Diagrammes SiO<sub>2</sub>–Rb/Zr. Légende : cf. Fig. 2.

Fig. 4. SiO<sub>2</sub>–Rb/Zr diagram. Legend: see Fig. 2.

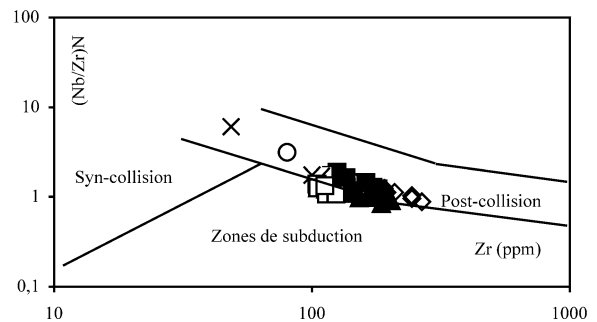


Fig. 5. Diagrammes (Nb/Zr)N–Zr. Légende : cf. Fig. 2.

Fig. 5. (Nb/Zr)N–Zr diagram. Legend: see Fig. 2.

manteau métasomatisé (fort enrichissement en potassium de la source) ne semble pas très réelle, à cause de l'absence, dans la chaîne hercynienne marocaine, de traces d'une zone de subduction pendant tout le Paléozoïque [24,25].

Par ailleurs, le magmatisme calco-alcalin de la Meseta orientale (*high-K* à shoshonitique), comme celui de la Meseta occidentale et ceux des batholites corso-sardes et des Alpes [29], n'est pas nécessairement lié à une marge active de type chilienne.

Ainsi, pour les granitoïdes du Maroc oriental, les caractères pétrographiques (présence de biotite et d'amphibole) et géochimiques (TiO<sub>2</sub> < 0,87 %, enrichissement en K, Ba, Th et en terres rares légères, rapport Rb/Zr < 2; Fig. 4) les assimilent aux granites post-collisionnels définis par Harris et al. [13] et de type Hlo (mixte, tardi-orogénique).

Dans le diagramme de discrimination géotectonique Zr–Nb/Zr de Thiéblemont et Téguyey [31], ces granitoïdes se localisent principalement dans le domaine des magmas de type post-collisionnel (Fig. 5).

Les valeurs élevées du Th et des rapports Nb/Zr attestent l'intervention d'un composant crustal dans leur genèse. Dans ces conditions, les anomalies en Nb et Ta sont à lier à la contamination par la croûte continentale.

La mise en place de ces granites post-collisionnels de la Meseta orientale dans un environnement intra-continental, guidée par des zones de cisaillement [14, 17] suivant un modèle de décompression adiabatique [9], est confortée par nos résultats. En effet, la zonalité (faciès à biotite et faciès à amphibole) des granitoïdes selon des alignements NE–SW témoignerait de l'allure des zones de cisaillement lithosphériques dans cette partie de la chaîne hercynienne marocaine.

## Remerciements

Les auteurs remercient MM. D. Gasquet et C. Hoepffner pour leurs critiques et remarques constructives, ainsi que MM. S. Bilal et J. Hertogen pour les analyses chimiques. Les tableaux d'analyse des éléments majeurs et des éléments en traces des échantillons étudiés sont à la disposition de tout lecteur intéressé.

## Références

- [1] T. Ajaji, D. Weis, A. Giret, M. Bouabdellah, Coeval potassic and sodic calc-alkaline series in the post-collisional Hercynian Tanncherfi intrusive complex, northeastern Morocco: geochemical, isotopic and geochronological evidence, *Lithos* 45 (1998) 371–393.
- [2] M. Amenou, Typologie du zircon des granitoïdes hercyniens du Maroc : conséquences pétrogénétiques et implication géodynamique, thèse, université Moulay-Ismaïl, 1996, 180 p.
- [3] H.Y. Berrada, Magmatisme séquentiel des massifs de Tanncherfi et de Merguechoum. Terminaison orientale de la chaîne hercynienne du Maroc, thèse 3<sup>e</sup> cycle, université Cadi-Ayyad, faculté des sciences Semlalia, Marrakech, Maroc, 1993, 144 p.
- [4] L. Briquieu, H. Bougault, J.L. Joron, Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones, petrogenetic implications, *Earth Planet. Sci. Lett.* 68 (1984) 297–308.
- [5] N. Clauer, D. Jeannette, D. Tisserant, Datation isotopique des cristallisations successives du socle cristallin et cristallographique de la haute Moulouya (Maroc hercynien), *Geol. Rundsch.* 5 (1980) 383–399.
- [6] F. Debon, P. Le Fort, A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principal methods and applications, *Bull. Minéral.* 111 (1988) 493–510.
- [7] B. Deruelle, Petrology of the Plio-Quaternary volcanism of the South Central and Meridional Andes, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 14 (1982) 77–124.
- [8] H. El Hadi, Caractérisations pétrographique et géochimique des granitoïdes hercyniens tardi-orogéniques des massifs de Zekkara, Tarilest, Beni-Snassène et Boudoufoud (Meseta orientale, Maroc). Implications pétrogénétiques et géodynamiques, thèse, université Hassan-II–Mohammedia, Casablanca, Maroc, 1998, 225 p.
- [9] H. El Hadi, A. Chabane, J. Hertogen, A. Giret, Place des massifs granitiques de Zekkara, Tarilest et Beni-Snassène dans la chaîne hercynienne (Meseta orientale, Maroc), *Géol. Méditerran.* XXVII (3–4) (2000) 159–173.
- [10] H. El Hadi, A. Chabane, A. Zouita, A. Giret, J. Hertogen, Minéralogie et pétrologie des roches granitiques de l'intrusion de Boudoufoud, Maroc oriental, *Mines, Géologie et Energie*, Rabat 58 (2001) 17–24.
- [11] F. Filali, M. Guiraud, J.-P. Burg, Nouvelles données pétrostructurales sur la boutonnière d'Aouli-Mibladen (haute Moulouya) : leurs conséquences sur la géodynamique hercynienne au Maroc, *Bull. Soc. géol. France* 170 (4) (1999) 435–450.
- [12] D. Gasquet, J.-M. Stussi, H. Nachit, Les granitoïdes hercyniens du Maroc dans le cadre de l'évolution géodynamique régionale, *Bull. Soc. géol. France* 4 (1996) 517–528.
- [13] N.B.W. Harris, J.G. Pearce, A.G. Tindle, Geochemical characteristics of collision-zone magmatism, *Geol. Soc. Spec. Publ.* 19 (1986) 67–81.
- [14] C. Hoepffner, La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc, thèse, université Louis-Pasteur, Strasbourg, France, 1987, 280 p.
- [15] S. Huon, Clivage ardoisier et réhomogénéisation isotopique K–Ar dans les schistes paléozoïques du Maroc. Étude microstructurale et isotopique, conséquences régionales, thèse, université Louis-Pasteur, Strasbourg, France, 1985, 124 p.
- [16] J.-L. Lagarde, Les plutons granitiques hercyniens : marqueurs de la déformation crustale : l'exemple de la Meseta marocaine, thèse, université de Rennes, 1987, 371 p.
- [17] J.-L. Lagarde, R. Capdevilla, S. Fourcade, Granites et collision continentale : l'exemple des granitoïdes carbonifères dans la chaîne hercynienne ouest-européenne, *Bull. Soc. géol. France* 8 (1992) 9–24.
- [18] Z. Mrini, A. Rafi, J.-L. Duthou, P. Vidal, Chronologie Rb/Sr des granitoïdes hercyniens du Maroc : conséquences, *Bull. Soc. géol. France* 3 (1992) 429–443.
- [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] D. Oukémini, J.-H. Bourne, Étude géochimique des granitoïdes du pluton d'Aouli, haute Moulouya, Maroc, *J. Afr. Earth Sci.* 4 (1993) 617–629.
- [21] D. Oukémini, J.H. Bourne, T.E. Krogh, Géochronologie U–Pb sur zircon du pluton d'Aouli, Haute Moulouya, Maroc, *Bull. Soc. géol. France* 166 (1) (1995) 15–21.



- [22] J.A. Pearce, N.B.W. Harris, A.G. Tindle, Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *J. Petrol.* 25 (4) (1984) 956–983.
- [23] A. Peccerillo, S.R. Taylor, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, *Contrib. Miner. Petrol.* 58 (1976) 63–81.
- [24] A. Piqué, A. Michard, Moroccan Hercynides. A synopsis. The Paleozoic sedimentary and tectonic evolution at the northern margin of west Africa, *Am. J. Sci.* 289 (1989) 286–330.
- [25] A. Piqué, Géologie du Maroc. Les domaines régionaux et leur évolution structurale, Edition Pumag, Marrakech, 1994, 284 p.
- [26] A. Rafi, Approche pétrographique, géochimique et géochronologique (Rb/Sr) des granitoïdes du Maroc oriental, thèse, université de Marrakech, Maroc, 1988, 113 p.
- [27] T. Rémmal, Étude géologique du secteur de la mine à tungstène d'Hassain Eddiab (Maroc nord-oriental), thèse, université Nancy-1, 1989, 250 p.
- [28] F. Rosé, Les types granitiques du Maroc hercynien, thèse, université Paris-6, 1987, 381 p.
- [29] A. Rottura, G.M. Bargossi, A. Caggianelli, A. Del Moro, D. Visonia, C.A. Tranne, Origin and signification of the Permian high-K calc-alkaline magmatism in the central-eastern Southern Alps, Italy, *Lithos* 45 (1998) 329–348.
- [30] K. Targuisti, Géologie et métallogénie du massif granitique d'Alouana (Maroc oriental), thèse, université de Besançon, France, 1983, 184 p.
- [31] D. Thiéblemont, M. Téggyey, Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alkalins, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 319 (1994) 87–94.
- [32] D. Tisserant, Les isotopes du strontium et l'histoire hercynienne du Maroc. Étude de quelques massifs atlasiques et mésétiens, thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Strasbourg, France, 1977, 103 p.