

# Nouvelles observations dans le dépo-centre volcano-sédimentaire carbonifère du Massif du Tazekka (Moyen-Atlas, Maroc): implications sur l'évolution géodynamique de la chaîne Hercynienne

New observations on the Carboniferous volcano-sedimentary depocentre of the Tazekka Massif (Middle-Atlas, Morocco): implications for the understanding of the geodynamic evolution of the Hercynian belt

A. BENNOUNA\*; M. BEN ABBOU \*; C. HOEPFFNER\*\* ; M. L. RIBEIRO\*\*\*; F. KHARBOUCH\*\*; J. F. RAMOS\*\*\*; N. YOUBI\*\*\*\*; Y. DRIOUCH\*; M. DAHIRE\* & A. NTARMOUCHANT\*

*Mots-clés:* Chaîne hercynienne; Meseta marocaine; système de bassins d'avant-pays; volcanisme calco-alcalin; marge active.

*Résumé:* L'analyse combinée des structures tectoniques et des faciès conduit à interpréter le Complexe Volcano-Sédimentaire carbonifère du Massif du Tazekka, à l'échelle du grand bassin d'avant-pays carbonifère de la Meseta orientale, comme un dépo-centre ou sous-bassin compressif contrôlé principalement par la propagation vers le nord-ouest de plis d'amortissement du chevauchement de Hajra Sbaa-Merja el Caïd. Les séquences tectono-sédimentaires détritiques conglomératiques et/ou tuffitiques sont associées à un magmatisme extrusif comportant des basaltes, andésites, dacites, rhyodacites et rhyolites effusives homogènes ou pyroclastiques à blocs remaniés. Ces volcanites forment les termes d'une séquence subalcaline à affinité calco-alcaline «orogénique», caractéristique d'un contexte de subduction.

Ces résultats, ainsi que la comparaison des âges de la contraction régionale, dans la Meseta marocaine, permettent d'intégrer le dépo-centre Volcano-Sédimentaire carbonifère du Massif de Tazekka dans le contexte de la "wedge top depozone" d'un système de bassins d'avant-pays flexural en compression, commandée par la progression de deux séquences de chevauchement progrades vers le nord-ouest depuis le Fameno-Tournaisien au Viséen supérieur terminal-Westphalien inférieur de la Meseta orientale vers la Meseta occidentale du Maroc septentrional hercynien.

*Key-words:* Hercynian-chain; Moroccan Meseta; foreland basin system; Calc-alkaline volcanism; Active margins.

*Abstract:* The integrated analysis of thrust structures and facies allows us to interpret the Carboniferous volcano-sedimentary complex of Tazekka Massif as a compressive sub-basin controlled, mainly, by Hajra Sbaa-Merja el Caïd northwest-verging thrust-propagation fold. The tectono-sedimentary sequences (conglomerates, siltites, greywacke and shales) are associated to an extrusive magmatism comprising basalts, andesites, dacites, rhyodacites and effusive homogeneous or pyroclastic rhyolites with abundant sedimentary or magmatic exotic blocks. These volcanic rocks constitute an orogenic calc-alkaline affinity sequence that is consistent with a subduction context.

These results, and the comparison of the ages of regional contraction in the Moroccan Meseta, integrate the carboniferous volcano-sedimentary depocentre of Tazekka Massif in the wedge top depozone of a foreland basin system generated by the two north-west thrust piggy-back sequences from Fameno-Tournaisian to upper Viséen – lower Westphalian from the oriental Meseta to the western Meseta of hercynian septentrional Morocco.

*Palavras-chave:* Cadeia hercínica; Meseta marroquina; sistema de bacias de ante-país; vulcanismo calco-alcalino; margem activa.

*Resumo:* A análise integrada das estruturas tectónicas e das fácies do Complexo Vulcano Sedimentar do Maciço de Tazekka sugere que este, à escala da grande bacia carbonífera de ante – país da Meseta Oriental marroquina, corresponde a um depocentro ou sub-bacia em compressão controlada pela propagação, para NW, de dobras de amortecimento do cavalgamento de Hajra Sbaa el Caïd. As sequências tectono-sedimentares, detrito-conglomeráticas e/ou tuffíticas, estão associadas a um magmatismo extrusivo com basaltes, andesitos, dacitos, riodacitos e riólitos homogéneos ou piroclásticos com blocos re-sedimentados. Estes vulcanitos correspondem a uma sequência sub-alcalina equivalente às sequências calco-alcalinas orogénicas características de ambientes de subducção.

Estes resultados, assim como a comparação das idades de contração regional na Meseta marroquina, permitem integrar o Maciço de Tazekka num contexto de *wedge top deepzone* dum sistema de bacias de ante-país flexural, em compressão comandada pela progressão de duas sequências de cavalgamentos prógradados, de NW, desde o Fameno – Tournaisiano ao Viséano sup. terminal – Westfaliano inf., da Meseta Oriental para a Meseta Ocidental, em Marrocos setentrional.

\* Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences Dher Mehraz, University Mohamed Ben Abdellah, B.P. 1796 Atlas, Fes, Morocco.

\*\* Department of Earth Sciences, Faculty of Sciences, University of Mohamed V, B.P. 1014, Rabat, Morocco.

\*\*\* INETI, Departamento de Geologia, Estrada da Portela, Zambujal, 2720 Alfragide, Portugal.

\*\*\*\* Department of Geology, University Cadi Ayyad, B.P. 2390, Marrakesh, Morocco.

## INTRODUCTION

Le massif hercynien de Tazekka est situé au cœur du Moyen Atlas (Maroc) où il fait la transition entre deux domaines mésétiens à évolutions structurales différentes de la Meseta – orientale et occidentale (Fig. 1). La Meseta orientale est caractérisée par une première déformation enchaînant plissement synschisteux et cisaillements d'âge post-Frasnien et anté-Viséen supérieur (phase bretonne, HOEPFFNER, 1987). La Meseta occidentale est caractérisée par une déformation majeure post Viséo-Namurienne (phase asturienne, PIQUE & MICHARD, 1981; PIQUE, 1989;

PIQUE *et al.*, 1993) précédée par l'individualisation de bassins turbiditiques à partir du Dévonien supérieur, en contrecoups de la phase post-Frasnien de la Meseta orientale. Cette zonation structurale s'inscrit dans une polarité structurale à vergence ouest ou sud-ouest, entre les zones internes (orientales) et les zones externes (occidentales) de la chaîne mesétienne (HOEPFFNER, 1987).

Le massif paléozoïque du Tazekka est usuellement subdivisé en trois grandes zones structurales (orientale, intermédiaire et occidentale) allongées NNE-SSW, séparées par des zones de cisailantes dextres (HOEPFFNER, 1987) (Fig. 1). Ces trois zones sont affectées par des mouvements

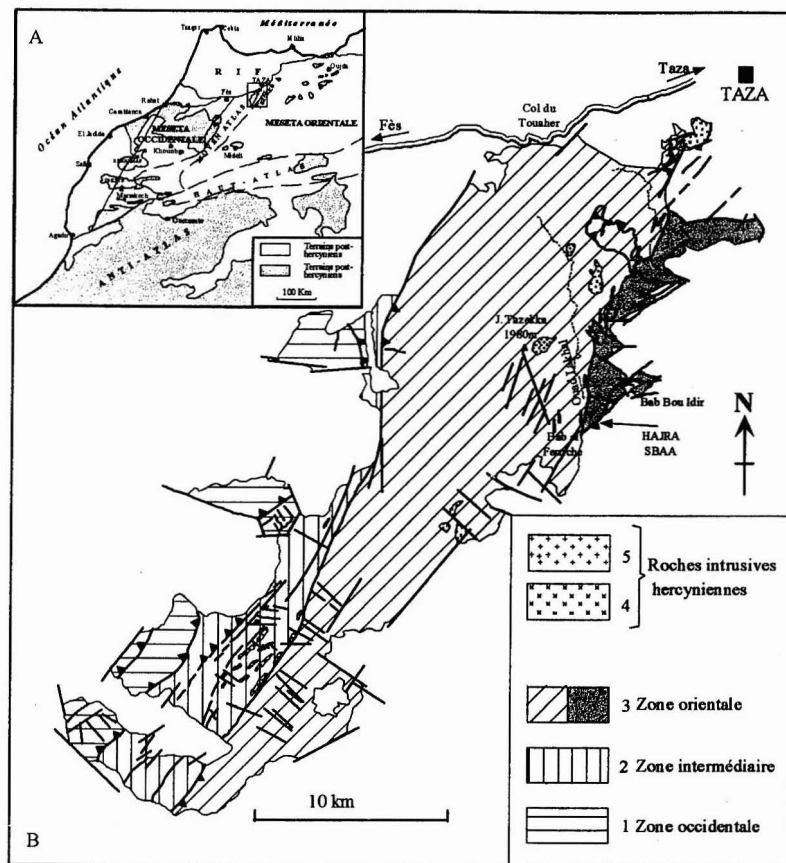


Fig. 1 – A – Localisation du Massif du Tazekka dans les grands domaines géo-structuraux du Maroc. B – Zones structurales du Massif de Tazekka: Zone Occidentale (1): comprend des schistes, grès micasés et quartzite, de l'Ordovicien au Dévonien inférieur à moyen, peu ou pas métamorphisés; Zone Intermédiaire (2): composée de schistes grès-pélimitiques ordoviciens peu métamorphiques; Zone Orientale (3): comprend des schistes grès-pélimitiques ordoviciens sur lesquels repose en discordance le Complexe Volcano-Sédimentaire Carbonifère (\*), faiblement métamorphisés. Roches intrusives hercyniennes (4) microdiorites et/ou microgranites, (5) granite du Tazekka (HOEPFFNER, 1987, complété).

- A – The position of the Tazekka Massif in the structural domains of Morocco. B – Structural zones of Tazekka Massif: Western-Zone (1) comprises slates and argillaceous sandstones from Ordovician to lower-middle Devonian age; Middle-Zone (2) consisting of Ordovician argillaceous sandstones and phyllites; Eastern-Zone (3) made up of the Volcano-Sedimentary Complex (\*) unconformably overlying the Ordovician argillaceous sandstones and phyllites.

Hercynian intrusive rocks (4): microdiorites, microgranites and granites (HOEPFFNER, 1987; AMAOUAIN, 1991; adapt.)

éovariques (bretonne ou sudète) qui correspondent à la succession plissement plus cisaillement (D1, D2) générant des duplexes à vergence ouest, suivie d'une déformation D3 (plissement en chevrons ou *kinks*). Ces déformations sont coaxiales NNE-SSW au cours desquelles la déformation évolue d'un régime tangentiel à vergence W à un serrage avec plan d'aplatissement subvertical et tendance au rétrochevauchement vers l'Est. L'intensité du métamorphisme, accompagnant la déformation éovarique, diffère toutefois d'une zone à une autre. Des roches intrusives hercyniennes, microdiorites et/ou microgranites et granites affleurent aussi, surtout dans la zone orientale.

La Zone Orientale comprend des schistes grèsopélitiques ordoviciens, d'épaisseur avoisinant 1000 m, surmontés, en discordance, par le Complexe Volcano-Sédimentaire Carbonifère, faiblement métamorphisés. Le métamorphisme est décroissant de l'Est (épizone) vers l'Ouest (anchizone) et moins ancien que dans la Meseta orientale (où il a été daté de 329-330 Ma, HUON *et al.*, 1987).

La Zone Intermédiaire du Massif de Tazekka, est composée de schistes grèsopélitiques ordoviciens peu métamorphiques (anchizone) situés à l'intérieur d'une zone cisailante.

La Zone Occidentale, comprend des pélites, grès micasés et quartzites, de l'Ordovicien au Dévonien inférieur à moyen, peu ou pas métamorphisés.

Le Complexe Volcano-Sédimentaire carbonifère, qui fait l'essentiel de cet étude, affleure dans la Zone Orientale du Massif de Tazekka, où il occupe l'extrémité NE, a une puissance qui peut atteindre 1000 m et repose en discordance sur les schistes ordoviciens de Tazekka qui constituent l'essentiel des affleurements du Massif (AGARD *et al.*, 1958; RAUSCHER *et al.*, 1982) (Fig. 2). Il est représenté par des dépôts grésoconglomératiques, tuffitiques, argileux et carbonatés d'âge Viséo-Namurien (MARHOUMI, 1985; CHALOT-PRAT & VACHARD, 1989) associés à des volcanites formant deux ensembles superposés: un ensemble constitué de basaltes, andésites à olivine, à hornblende et/ou à pyroxène surmonté par un ensemble dominant constitué de rhyolites effusives homogènes ou pyroclastiques riches en enclaves (CHALOT-PRAT, 1986; 1990; CHALOT-PRAT & CABANIS, 1989; KHARBOUCH, 1994).

Ce Complexe Volcano-Sédimentaire a été souvent interprété comme un bassin Viséo-Namurien distensif, inversé par une déformation compressive NW-SE (HOEPFFNER, 1987; ESSAMAWAL, 1999) ou comme une dépression volcano-tectonique tardi-orogénique de type caldeira (CHALOT-PRAT, 1986; 1990). HUVELIN (1986;

1992) souligne toutefois d'importants phénomènes de resédimentation, contemporains aux dépôts des volcanites, suggérant ainsi un remplissage rapide du bassin.

De nouvelles observations d'ordre tectono-sédimentaire et magmatique nous ont permis d'illustrer le contrôle tectonique de la sédimentation et de la mise en place des volcanites, et de proposer une nouvelle vision de la dynamique de cette dépression volcano-sédimentaire.

## RELATION TECTONIQUE/SEDIMENTATION

### La série carbonifère

Au point de vue du remplissage sédimentaire, les séquences carbonifères du Complexe Volcano-Sédimentaire montrent des variations de faciès depuis la bordure Est vers la bordure Ouest du dépo-centre.

#### *Série de la bordure orientale*

La série de la bordure orientale, située au niveau de la butte de Hajra Sbaa à l'extrémité SE du complexe Volcano-Sédimentaire de Tazekka correspond à une sédimentation catastrophique, discordante sur les schistes grèsopélitiques du substratum ordovicien et surmonté par un ensemble basaltique (300 m). Elle est organisée en une mégaséquence négative de 100 m à 150 m constituée à la base de conglomérats métriques, alternant avec des grès sableux et des siltites et renfermant des coulées andésitiques. Vers le sommet de la mégaséquence, les conglomérats dominant et se distinguent des précédents par la présence, en plus, d'éléments provenant des andésites, correspondant à un autoremaniement des niveaux de base de cette série détritico-conglomératique. (Fig. 3A).

Les conglomérats de la base, de couleur brune verte, sont inorganisés et constitués exclusivement d'éléments de nature grèsopélitiques, psammitiques, schisteux épimétamorphiques et siliceux. Les éléments de taille variant, de quelques centimètres à environ 30 cm, sont aplaties anguleux à subarrondis, empruntés au substratum ordovicien. Ils sont imbriqués les uns aux autres, généralement sans aucun classement visible à la base de cette série, mais vers le sommet, ils sont relativement plus foncés et montrent un début de granoclassement positif. Ces conglomérats se présentent en plusieurs niveaux, d'épaisseur variant du décimètre à 2 m au maximum et d'extension de quelques mètres au décamètre, montrant souvent un débit régulier, parallèle aux limites des bancs et, parfois, une base érosive. Ils alternent avec

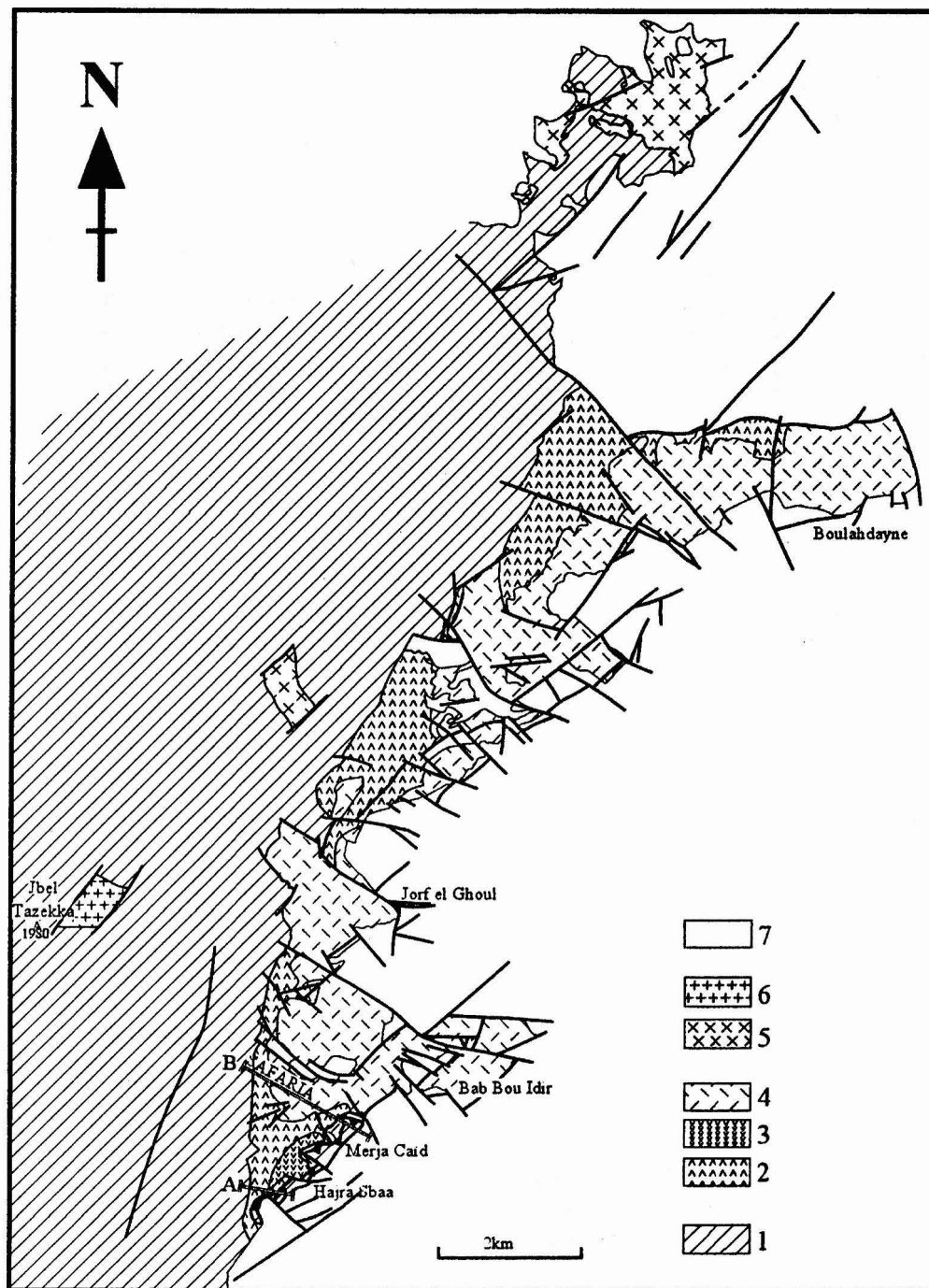


Fig. 2 – Carte géologique simplifiée de la zone orientale du Massif du Tazekka (d'après CHALOT-PRAT, 1990; HUVELIN, 1986; ESSAMAWAL, 1999; et nos observations personnelles) et localisation des coupes A et B de la figure 4. (1) séquences détritiques de l'Ordovicien; (2) Série détritico catastrophique et série épicyclastique fine intercalée avec des coulées andésitiques (\*); (3) ensemble basaltique; (4) ensemble rhyolitique; (5) microdiorites; (6) granite hercynien de Tazekka; (7) Terrains post-hercyniens.

- Simplified geological map of the Eastern Zone of the Tazekka Massif (from CHALOT-PRAT, 1990; HUVELIN, 1986; ESSAMAWAL, 1999; and personal observations) and location of the cross-sections A and B of figure 4. (1) Ordovician detrital sequences; (2) detrital catastrophic and detrital epicyclastic series with flows intercalations of andesitic lavas; (3) Basaltic sequence; (4) Rhyolitic sequence; (5) microdiorites; (6) hercynian granite of Tazekka; (7) Post-hercynian rocks.

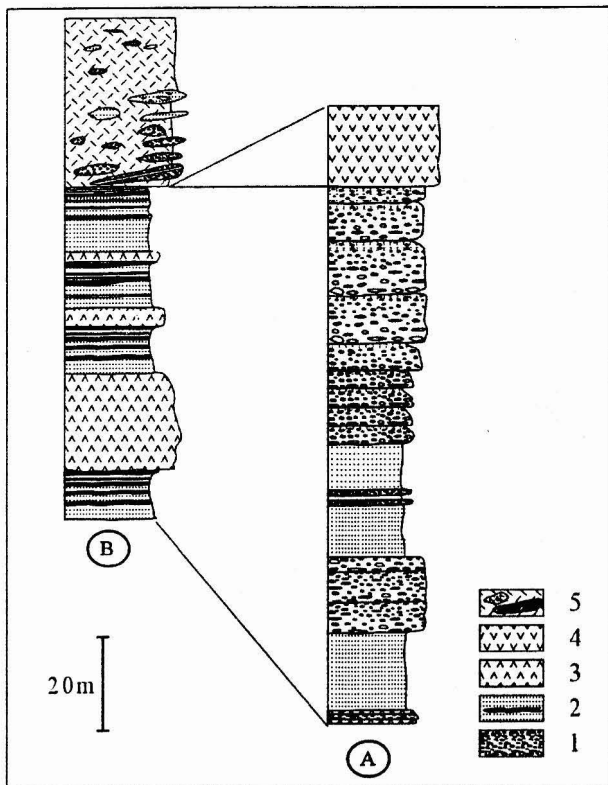


Fig. 3 – Colonnes stratigraphiques représentatives des bordures orientale (A) et occidentale (B) du Complexe Volcano-Sédimentaire Carbonifère du Massif du Tazekka. (1) série détritico catastrophique; (2) série détritico et/ou épicroclastique fine avec des coulées andésitiques (3) interstratifiées; (4) coulées basaltiques; (5) rhyolites à blocs remaniés.

- Representative stratigraphic columns of the eastern (A) and the Western (B) passive borders from the Carboniferous Volcano-Sedimentary depozone of the Tazekka Massif. (1) detrital catastrophic series; (2) detrital and/or fine-grained epiclastic series (line indicates sandstone layers); (3) interbedded andesitic lava-flows in the previous series (4) basaltic lava-flows; (5) Rhyolites with reworked blocks.

des roches détritico plus fines, représentées essentiellement par des siltites d'épaisseur métrique à décimétrique, renfermant des niveaux d'épaisseur centimétrique de grès microconglomératiques et de grès sableux. Les grès microconglomératiques et grès sableux se caractérisent par leur granularité relativement grossière, résultant d'un mélange d'éléments de sables et d'argiles en présence de rares galets de schiste de taille de l'ordre du centimètre. Ces niveaux affleurent en minces bancs d'épaisseur centimétrique, au sein d'une sédimentation relativement plus fine, correspondant à des siltites. Cette sédimentation gréseuse montre des débris de végétaux et des structures sédimentaires marquées par un litage horizontal.

### Série de la bordure occidentale

La série de la bordure occidentale du Complexe Volcano-Sédimentaire (200 à 300 m) comprend une sédimentation épicroclastique alternante de type tuffites et cinérites et/ou argilites grès-arkosiques ou grauwacko-argileuses avec généralement de nombreuses passées métriques à décimétriques de coulées andésitiques (Fig. 3B). A l'échelle semi-métrique l'alternance grauwacko-argileuse constitue des séquences positives à bases érosives avec, surtout, des figures de charge. Les niveaux fins grès-argileux présentent le plus souvent des lamines convolutées et/ou parallèles; les niveaux grossiers sont composés de grains provenant, presque exclusivement, des volcanites associées. L'ensemble des structures traduit une dynamique de tempête, associée à des multitudes de venues de volcanites andésitiques au niveau d'une plate-forme peu profonde relativement stable.

Au point de vue magmatique, la série Volcano-Sédimentaire de base, intercalée de niveaux andésitiques, est surmontée dans le secteur Hajra Sbaa-Merja el Caïd par des épanchements de nature basaltique. Finalement elle est scellée, en discordance, par de nouvelles coulées rhyolitiques à structure pyroclastique (ignimbrites au sens de CHALOT-PRAT, 1986; 1990; HOEPFFNER, 1987; KHARBOUCH, 1994) qui occupent l'essentiel des affleurements du Complexe Volcano-Sédimentaire carbonifère de Tazekka (Fig. 2 et Fig. 3). La découverte de blocs exotiques transportés constitue un trait caractéristique de ces coulées pyroclastiques rhyolitiques. Ce sont des blocs, de volume allant du centimètres cubiques à plusieurs centaines de mètres cubiques, empruntés, essentiellement, au substratum ordovicien (schistes et grès-quartzites) et à la série carbonifère sous-jacente (série conglomératique et silteuse ou volcano-sédimentaire, calcaires bioclastiques, rhyodacite, andésite, basalte) et coexistent avec d'autres de nature rhyolitique, issus de l'autoremanement de la même coulée pyroclastique. Des blocs granitiques et microdioritiques sont également rencontrés. L'omniprésence remarquable de ces éléments de taille et de nature différente, complètement enrobés et remaniés dans ces coulées pyroclastiques rhyolitiques justifie notre appellation de rhyolites à blocs remaniés. Cet important remaniement dans la masse pyroclastique rhyolitique a été décrit par MORIN (1948a) et, localement, comme phénomène de resédimentation (HUVELIN, 1986; ESSAMAWAL, 1999).

### Contrôle tectonique de la sédimentation et du magmatisme

La série de la bordure orientale du dépo-centre Volcano-Sédimentaire, d'affleurement réduit (extrémité SE du Complexe Volcano-Sédimentaire de Tazekka), est dirigée NE-SW et plonge normalement de 70° à 80° vers le NW. Elle est discordante sur les grès-pélites du substratum ordovicien et organisée en une barre conglomératique catastrophique, au front d'un chevauchement plat (NE-SW, 10° à 20° E). Ce chevauchement est associé à un anticlinal d'amortissement, affectant le substratum ordovicien affleurant depuis Hajra Sbaa à Merja el Caïd (écaïlle ordovicienne de Merja el Caïd, HOEPFFNER, 1987) (Fig. 4A). Cette disposition assimile cette mégaséquence à un prisme tectonogénétique traduisant la création rapide d'espace disponible et la déstabilisation et l'érosion de la bordure orientale.

La série de la bordure occidentale, affleure largement tout au long du bassin, est également orientée NE-SW mais, plonge faiblement vers le SE (10° à 30°) (Fig. 4B). Elle traduit un milieu relativement stable du dépo-centre.

La mise en place des coulées basaltiques et rhyolitiques serait également en relation avec la progression du chevauchement de Hajra Sbaa-Merja el Caïd. En effet, celui-ci est jalonné, au niveau de Hajra Sbaa, par des sils basaltiques de puissance métrique et au niveau de Merja el Caïd par un filon rhyolitique de l'ordre de 30 m d'épaisseur (Fig. 4).

Au niveau de Hajra Sbaa, la brèche tectonique, soulignant le chevauchement portant le même nom, est jalonnée par un filon basaltique de puissance décimétrique, dont la texture microlitique aphanitique fluidale témoigne d'une mise en place rapide dans des conditions de subsurface (Fig. 4A). Dans son prolongement NE

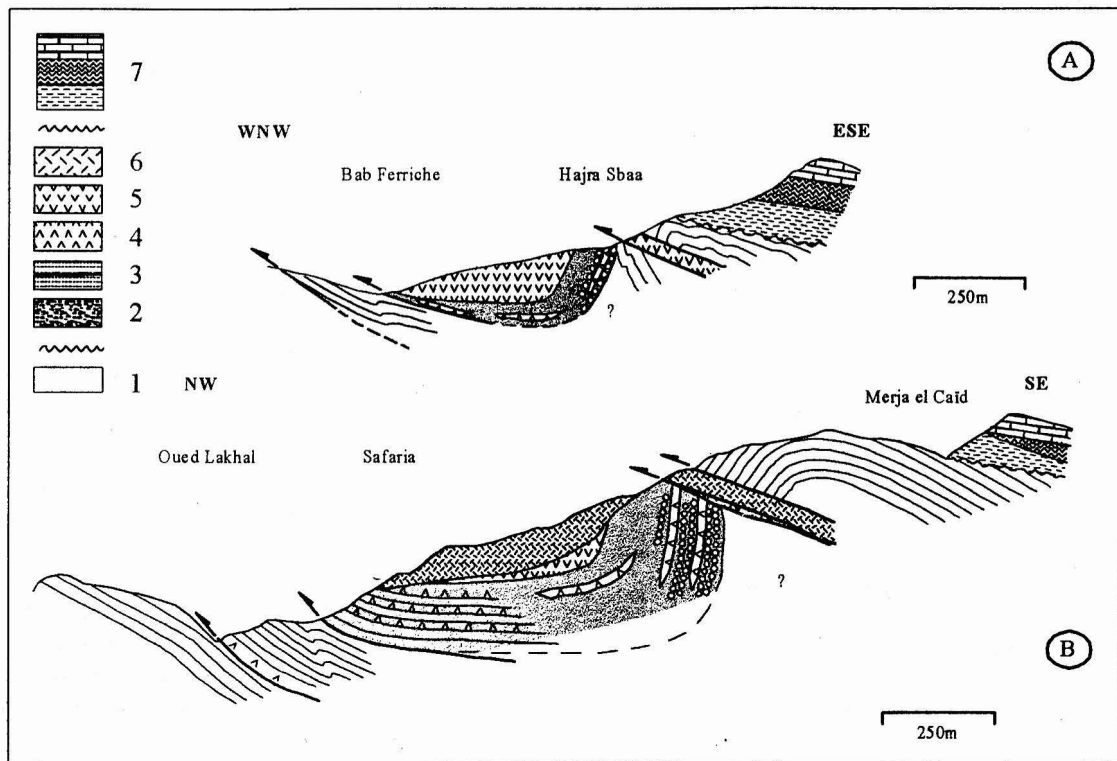


Fig. 4 – Coupes structurales à travers le dépo-centre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka; localisation sur la Fig. 2. (1) Séquences détritiques de l'Ordovicien; (2) série détritique catastrophique; (3) série épicastique fine, alternante avec des coulées andésitiques; (4) ensemble andésitique; (5) ensemble basaltique; (6) ensemble rhyolitique à blocs remaniés; (7) ensemble Mésozoïque.

- Cross sections through the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif (located on Fig. 2). (1) Ordovician detrital series; (2) detrital catastrophic series; (3) fine-grained epiclastic series; (4) andesitic lava-flows interbedded in the previous series; (5) basaltic lava-flows; (6) rhyolites with reworked blocks; (7) Mesozoic cover.

(Merja el Caïd), le chevauchement substratum ordovicien est plutôt souligné par des rhyolites pyroclastiques d'épaisseur décimétrique. A proximité immédiate du chevauchement, les schistes ordoviciens sont repris par des replis 10° N; 40° N en chevron, en *kinks* ou en microplis dissymétriques à vergence ouest. Dans les rhyolites porphyroclastiques, s'observent également des structures linéaires et planaires en relation avec le chevauchement. La structure planaire est marquée par une fluidalité subhorizontale, marquée par les phénocristaux de biotite. La structure linéaire est matérialisée, dans le plan de la fabrique planaire par des cristaux de quartz et de feldspath fragmentés et étirés dans la direction 10° N.

## LE MAGMATISME ASSOCIÉ À LA SÉRIE VOLCANO-SEDIMENTAIRE

D'après les travaux antérieurs, le volcanisme du déposé-carbonifère de Tazekka correspond à une association calco-alcaline, typique des zones orogéniques (HOEPPFNER, 1981; KHARBOUCH *et al.*, 1985). CHALOT-PRAT & CABANIS (1989) et CHALOT-PRAT (1990; 1995) distinguent deux ensembles de roches volcaniques: un premier ensemble, basique à andésitique homogène ou hybride (au sens de GIROD *et al.*, 1978), à affinité intraplaque et/ou associée à une subduction continentale; un second essentiellement rhyolitique d'origine crustale.

Nous regroupons les différents faciès volcaniques du déposé-carbonifère Volcano-Sédimentaire carbonifère de Tazekka en trois ensembles pétrographiques superposés: andésitique (andésites basaltiques, andésites et rhyodacites), basaltique (basaltes à fantôme d'olivine) et rhyolitique porphyrique (effusive et homogène à la base, pyroclastique à blocs remaniés vers le sommet).

### Pétrographie et données de minéralogie chimique

#### *L'ensemble andésitique*

Il montre une grande diversification de faciès et comprend des andésites basaltiques, des andésites, dacites et des rhyodacites. Ce sont des laves fluidales microlitiques, porphyriques ou, parfois microbréchiques avec des assemblages de phénocristaux, variables en fonction de la teneur en SiO<sub>2</sub>. Ils se caractérisent par leur aspect porphyrique riche en phénocristaux de plagioclase et des fantômes de minéraux ferro-magnésiens et, sur le terrain, par leur couleur généralement dans le ton rouge lie de vin. Outre le plagioclase, le clinopyroxène

et l'olivine sont communs dans les andésites basaltiques; l'amphibole (hornblende verte) est commune aux andésites basaltiques, aux andésites et aux rhyodacites; la biotite et le quartz rhyolitique sont présents dans les andésites, dacites et rhyodacites. Le dernier minéral est entouré d'une auréole réactionnelle composée de clinopyroxène dans les andésites basaltiques, alors qu'il apparaît stable dans les autres faciès de cet ensemble.

#### *L'ensemble basaltique*

Il n'affleure que dans la zone SE du déposé-carbonifère (Fig. 2). Cet ensemble comprend des basaltes à texture doléritique et à fantômes d'olivine. Ils renferment des plagioclases (An > 60%) à zonage complexe, des fantômes de minéraux prismatiques silicifiés, oxydés et chloritisés évoquant de l'olivine. Dans ces faciès on note aussi la présence de cristaux de quartz rhyolitique auréolés de clinopyroxène. Ce dernier existe aussi en microcristaux de taille inférieure à 1 mm, subautomorphes à xénomorphes et riches en inclusions de minéraux opaques entre les microlites de plagioclase ou en inclusion. Quelques rares cristaux d'amphibole altérée en chlorite et entourées de fines auréoles de clinopyroxène sont aussi visibles.

#### *L'ensemble rhyolitique*

Les associations minéralogiques sont à peu près les mêmes depuis les premières coulées rhyolitiques effusives homogènes à texture fluidale porphyrique aux dernières coulées rhyolitiques pyroclastiques à blocs. La paragenèse de ces rhyolites comprend du quartz rhyolitique, du feldspath potassique perthitique, du plagioclase (andésine-oligoclase) et de la biotite, généralement altérée en chlorite et oxydes; les minéraux accessoires sont les minéraux opaques, le zircon et l'apatite.

Les rhyolites effusives affleurent uniquement au centre du déposé-carbonifère et se caractérisent par une abondance modale des phénocristaux, de taille millimétrique à centimétrique, très variable, allant de rare, à la base, à plus de 30% au sommet de l'empilement des laves rhyolitiques.

Les coulées pyroclastiques rhyolitiques, homogènes sur tout le Complexe, montrent une texture de tufs riches en cristaux semblables aux «ash-flow tuffs» de ROS & SMITH (1961). Elles sont composées de cristaux et de fragments de cristaux pyroclastiques, dont ceux de taille supérieure à 2 mm forment de 20% à 40% du volume total. La matrice est généralement dévitrifiée en une cendre vitroclastique. En plus des blocs

exotiques remaniés, ces formations se caractérisent par leurs enclaves homogènes. Il s'agit de blocs anguleux ou subarrondis de volume inférieur au mètre cubique, montrent jusqu'à 40% de phénocristaux, souvent fragmentés et bien orientés dans une mésostase vitreuse fluidale.

Du point de vue des phases minérales, de ces ensembles volcanites, elles sont souvent altérées, mais renferment beaucoup de reliques de minéraux que nous avons pu analyser à la microsonde. Des pyroxènes, des feldspaths potassiques et plagioclases (albite à andésine), des hornblendes ( $7,5 > Si > 6,5$ ;  $Mg/(Mg + Fe) > 0,7$ ) des oxydes de fer, sphènes, apatites etc., ont été analysés. Le Tableau 1 présente dix nouvelles analyses, représen-

tatives des clinopyroxènes de l'ensemble andésitique, avec ou sans cristaux de quartz et les formules structurales respectives. Ils correspondent à des diopsides ( $Wo_{39-44} En_{44-47} Fs_{10-13}$ ) selon la classification de MORIMOTO *et al.* (1988). La projection des paramètres géochimiques des ces pyroxènes sur les diagrammes de LETERRIER *et al.*, 1982) se fait dans les champs des séquences calco-alcalines des environnements orogéniques (Fig. 5).

### Geochimie

La géochimie des volcanites (éléments majeurs, éléments traces et terres rares) du dépocentre carbonifère de Tazekka a été appréhendé à partir de 17

TABLEAU 1

Analyses chimiques, effectuées au laboratoire de Minéralogie de l'INETI à Porto (Portugal) et formules structurales des pyroxènes, calculées sur la base de six oxygènes, des ensembles andésitique et basique du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif de Tazekka.

Representative clinopyroxenes from andesitic and basaltic rock analyses (by the INETI laboratory, Porto, Portugal) and structural formulas (6 Oxygen) from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif.

Echantillons	DZ1	DZ2	DZ3	DZ4	B6/1	B6/2	B6/3	B6/4	B6/5	B6/6
SiO <sub>2</sub>	50,89	50,35	50,87	49,56	49,81	51,29	50,25	49,56	51,01	50,88
TiO <sub>2</sub>	0,70	0,78	0,74	0,91	0,88	0,79	-0,86	0,81	0,88	0,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,56	2,99	3,96	4,78	3,90	2,31	3,10	3,99	2,77	3,78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	6,43	8,21	6,07	6,05	7,38	8,04	8,13	8,37	7,49	7,09
MnO	0,16	0,28	0,11	0,15	0,09	0,15	0,30	0,25	0,18	0,10
MgO	16,47	16,60	16,32	15,70	15,40	16,52	15,64	15,51	16,06	15,85
CaO	20,75	19,21	21,08	21,19	21,12	20,39	20,28	20,68	20,70	21,50
Na <sub>2</sub> O	0,33	0,27	0,34	0,32	0,48	0,41	0,59	0,48	0,43	0,39
K <sub>2</sub> O	-	0,02	-	0,01	0,01	-	0,02	0,01	-	-
TOTAL	99,29	98,71	99,49	98,67	99,07	99,90	99,17	99,66	99,52	100,45
Si	1,888	1,890	1,881	1,852	1,866	1,905	1,885	1,854	1,899	1,875
Al(IV)	0,112	0,110	0,119	0,148	0,134	0,095	0,115	0,146	0,101	0,125
Al(VI)	0,043	0,022	0,054	0,063	0,038	0,006	0,022	0,030	0,020	0,039
Fe(3+)	0,080	0,096	0,073	0,086	0,120	0,111	0,131	0,155	0,093	0,097
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,020	0,022	0,021	0,026	0,025	0,022	0,024	0,023	0,025	0,024
Fe(2+)	0,119	0,159	0,114	0,102	0,108	0,136	0,121	0,103	0,138	0,119
Mn	0,005	0,009	0,003	0,005	0,003	0,005	0,010	0,008	0,006	0,003
Mg	0,911	0,929	0,900	0,875	0,860	0,915	0,875	0,865	0,891	0,871
Ca	0,825	0,772	0,835	0,848	0,848	0,811	0,815	0,829	0,825	0,849
Na	0,024	0,020	0,024	0,023	0,035	0,030	0,043	0,035	0,031	0,028
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
TOTAL	4,025	4,030	4,023	4,027	4,038	4,035	4,041	4,049	4,030	4,031
Wo	42,54	39,29	43,39	44,29	43,71	41,01	41,77	42,28	42,25	43,77
En	46,98	47,25	46,74	45,66	44,35	46,24	44,82	44,13	45,62	44,90
Fs	10,48	13,46	9,87	10,05	11,95	12,74	13,41	13,59	12,13	11,33

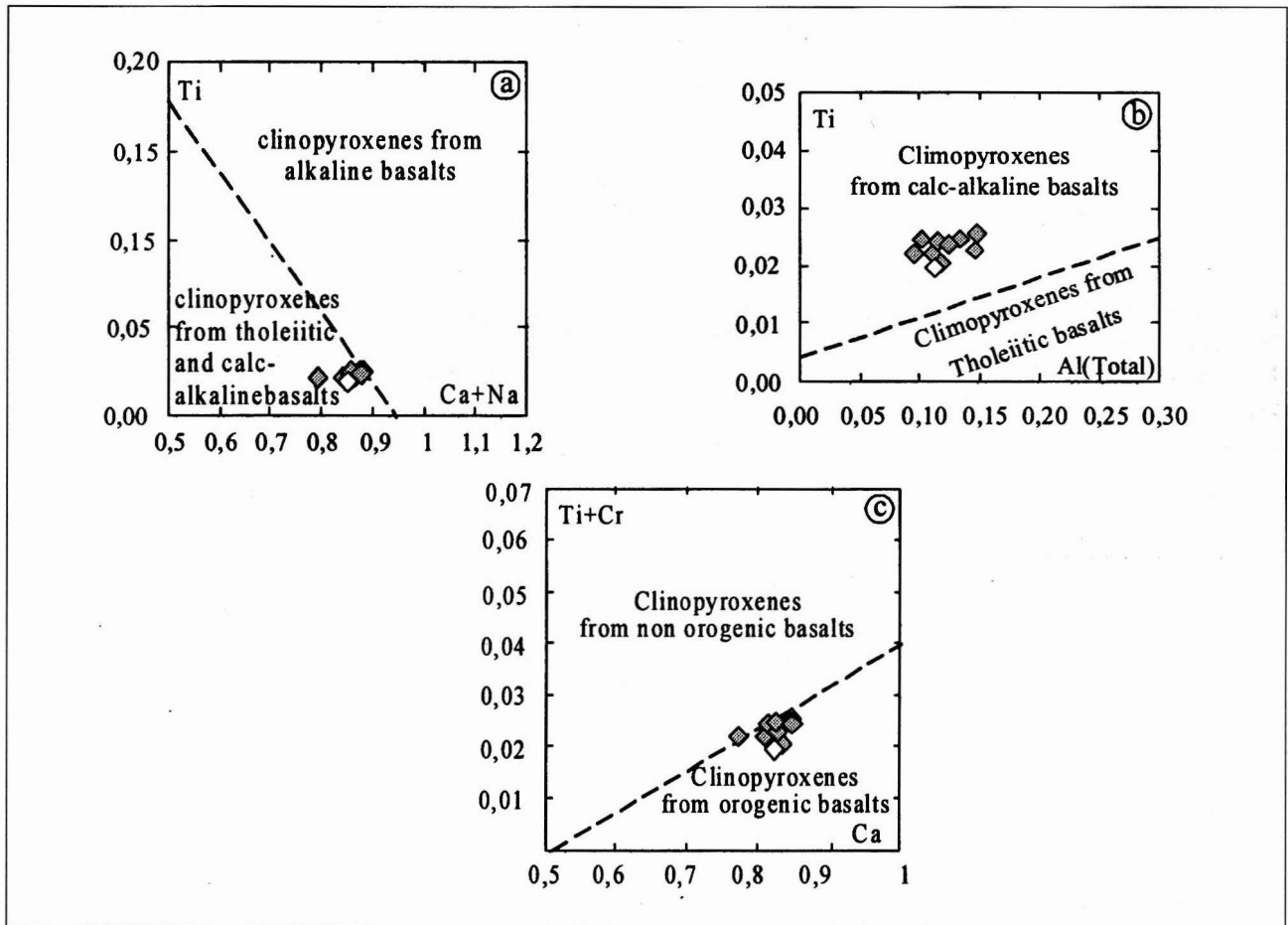


Fig. 5 – Position des clinopyroxènes des ensembles andésitique et basaltique du déposé Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka dans les diagrammes discriminants de LETERRIER *et al.* (1982). (a) Projection du Ti versus Ca+Na; (b) diagramme Ti versus Al; (c) diagramme Ti + Cr versus Ca. Carrés foncés, pyroxènes des andésites; carrés blancs, pyroxènes des basaltes.

- Clinopyroxenes from andesitic and basaltic sequences from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif in the LETERRIER *et al.*, (1982) diagram: (a) Ti vs Ca+Na; (b) Ti vs Al; (c) Ti+Cr vs Ca. Grey lozenge, pyroxenes from andesites; White lozenge, pyroxenes from basalts.

nouvelles analyses d'échantillons des différents faciès, représentatifs du Complexe Volcano-Sédimentaire de Tazekka (Tableau 2). Ces analyses chimiques ont été réalisées au Laboratoire de Géochimie de l'Université de Bretagne (Brest, France). Tous les faciès sont représentés y compris une enclave homogène des rhyolites porphyroclastiques à blocs remaniés (analyse B44).

Les volcanites du déposé Volcano-Sédimentaire de Tazekka sont spilitisées et montrent généralement des teneurs en P.F. le plus souvent supérieures à 2% et peuvent atteindre des valeurs supérieures à 9%, en particulier dans les volcanites basiques et andésitiques. Le calcul de la norme C.I.P.W., non présenté, permet d'appréhender les modifications chimiques des magmas originaux. Il montre un enrichissement en

silice et en sodium et un lessivage du calcium et du potassium, qui se traduit par une variation des teneurs en quartz, en feldspaths et par l'apparition du corindon normatif. La mobilité des autres éléments est difficile à cerner, notons toutefois l'oxydation du fer, l'appauvrissement en MgO. Les échantillons les moins altérés de basaltes et d'andésites montrent une sursaturation en silice et des teneurs moyennement élevés en  $Al_2O_3$ , faibles en  $TiO_2$  et élevés en  $K_2O$  et en CaO.

La mobilité syn. à post-magmatique des éléments chimiques majeurs cités réduit l'intérêt de ces éléments dans la typologie chimique du magmatisme (PEARCE, 1983; CABANIS, 1986). Par conséquent, notre étude géochimique sera basé sur les éléments qui sont généralement considérés comme immobiles durant les

TABLEAU 2

Analyses géochimiques, effectuées à l'université de Bretagne (Brest, France), des éléments majeurs et traces de roches totales des différents ensembles volcaniques du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka. (1, 2): ensemble basaltique; (3 à 13): ensemble andésitique; (14 à 17): ensemble rhyolitique.

Representative whole rock analyses, major and trace elements, (by the University of Bretagne Laboratory, Brest, France), of volcanic rocks from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif (1, 2): basaltic sequence; (3 to 13): andesitic sequence; (14 to 17): rhyolitic sequence.

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SiO <sub>2</sub>	54,30	53,40	55,40	58,60	55,30	57,30	58,20	54,00	52,70	54,60	57,00	56,50	57,90	72,00	73,75	70,50	72,60
TiO <sub>2</sub>	0,97	0,97	1,00	0,85	0,80	0,73	0,75	1,02	0,93	0,93	0,68	0,73	0,75	0,38	0,15	0,43	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,20	16,40	14,92	16,30	15,45	15,74	15,50	16,95	16,30	15,60	15,80	15,80	16,20	13,26	13,45	13,60	13,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	7,85	7,70	7,85	6,05	6,65	6,28	5,94	7,30	7,50	7,60	6,30	6,60	6,00	3,31	2,04	3,75	2,47
MnO	0,14	0,14	0,13	0,11	0,14	0,24	0,13	0,21	0,15	0,16	0,17	0,16	0,16	0,09	0,07	0,10	0,08
MgO	4,82	6,22	5,03	1,95	5,28	2,63	2,07	4,39	6,43	6,64	2,38	2,46	2,25	0,70	0,31	0,80	0,56
CaO	4,45	7,30	4,90	3,85	4,40	5,00	4,60	2,96	5,90	5,40	5,60	4,50	5,30	1,24	0,48	1,50	1,08
Na <sub>2</sub> O	6,10	2,90	3,60	3,32	3,79	1,82	3,21	6,61	3,64	5,52	4,22	2,29	2,23	2,88	3,34	3,27	3,27
K <sub>2</sub> O	0,90	0,22	2,44	3,33	0,41	2,48	3,10	0,34	0,74	0,65	1,86	3,10	3,00	4,85	4,90	4,40	4,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20	0,19	0,43	0,32	0,17	0,17	0,30	0,26						0,11	0,12	0,13	0,13
P.F.	2,96	4,48	3,68	5,16	7,50	7,57	5,73	5,65	4,33	2,58	5,87	6,17	6,28	1,24	0,89	1,50	1,36
Total	99,89	99,92	99,38	99,82	99,89	99,81	99,53	99,69	98,62	99,68	99,88	98,31	100,07	99,56	99,50	99,98	99,69
Ba	265	152	1100	880	240	490	880	290			266	604	817	345	570	555	600
Rb	285	6	73	143	16	108	135	17			89	124		216	215	172	188
Sr	620	371	675	572	172	146	565	412			813	317	316	116	87	136	140
Y	20,5	20,5	29,5	25,0	29,5	20,0	24,0	21,0			24,2	24,6	25,7	43,0	27,5	39,0	27,0
Zr	115	120	210	180	98	94	170	155			292	277	262	68	75	76	77
Nb	5,8	5,6	6,6	8,2	5,4	5,5	7,2	7,6			13,0		12,0	11,1	10,5	10,6	10,0
Ta	0,36	0,35	0,41	0,51	0,34	0,34	0,45	0,48			0,81		0,75	0,69	0,66	0,66	0,63
Th	3,3	3,2	10,7	14,7	6,5	7,7	14,0	4,0			16,3	17,8		13,0	10,4	15,6	10,7
Ni	122	124	218	37	59	72	38	52			46	50	77	12	10	13	14
V	160	155	180	112	142	132	105	130			130	131	132	36	14	33	26
Cr	286	265	485	97	174	176	66	76			83	82	88	129	105	36	202
Hf											6,6	7,3					
Sc	23,0	22,0	26,0	15,0	19,5	17,0	14,0	15,7			14,6	15,2	15,3	8,5	5,3	9,5	6,5
Ta	0,36	0,35	0,41	0,51	0,34	0,34	0,45	0,48			0,81		0,75	0,69	0,66	0,66	0,63
Co	31,0	30,0	34,0	17,0	24,0	20,0	18,0	24,0			19,7	20,2	21,0	6,0	4,0	7,0	5,0
La	13,8	13,2	33,0	35,0	22,5	20,0	34,0	20,5			36,8	40,3	41,0	28,0	26,0	37,5	26,5
Ce	30,0	28,0	73,0	74,0	43,0	44,0	67,0	45,0			82,0	79,0	74,0	62,0	50,0	79,0	55,0
Nd	16,5	15,8	39,0	37,0	25,0	21,0	34,5	26,5						28,0	20,0	34,5	22,0
Sn	3,70	3,40	8,10	6,80	4,94	4,30	6,80	4,90			8,10	9,00		6,00	4,60	7,25	4,50
En	1,08	1,08	1,95	1,70	1,28	1,12	1,63	1,34			1,75	1,80		0,75	0,73	1,07	0,89
Gd	3,85	3,50	7,25	6,00	5,25	3,90	5,80	4,40						6,50	4,60	7,30	4,70
Tb	0,47	0,47	0,67	0,57	0,67	0,45	0,55	0,48			0,68	0,74	0,58	0,98	0,63	0,89	0,61
Dy	3,55	3,30	5,30	4,00	4,45	3,50	4,25	3,90						7,10	4,50	6,70	4,40
Er	2,00	1,85	2,90	2,40	2,60	1,85	2,20	2,00						4,30	2,20	3,50	2,30
Yb	1,88	1,79	2,40	2,05	2,18	1,90	2,08	2,05					2,20	1,70	4,05	2,08	2,14

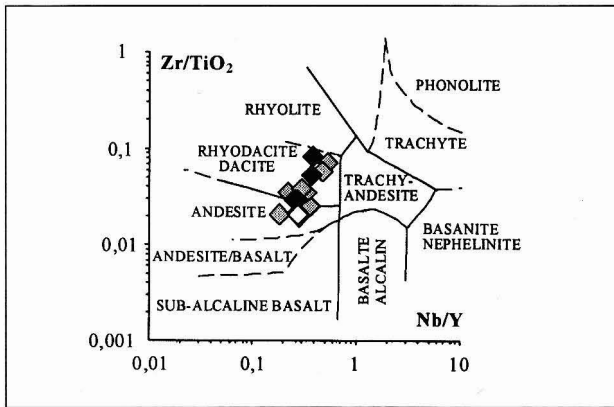


Fig. 6 – Position des volcanites du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka dans le diagramme Zr/TiO<sub>2</sub> en fonction de Nb/Y de classification géochimique des roches volcaniques de WINCHESTER & FLOYD (1977). Carrés gris – andésites; carrés blancs – basaltes; carrés noirs – rhyolites.

- Plot of volcanites from the volcano-sedimentary depozone of Tazekka Massif in Zr/TiO<sub>2</sub> vs Nb/Y diagram of WINCHESTER & FLOYD (1977). Grey lozenge – andesites; White lozenge – basalts; Black lozenge – rhyolites.

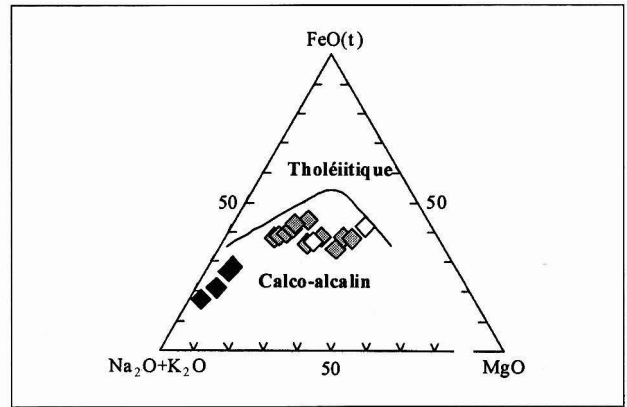


Fig. 7 – Diagramme AFM de IRVINE & BARAGAR (1971), appliqué aux volcanites du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka. Symboles comme dans la Fig. 6.

- Plot of the volcanic rocks from volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif in the AFM diagram of IRVINE & BARAGAR (1971). Symbols as in Fig. 6.

processus secondaires (éléments de potentiel ionique intermédiaire dans leurs états d'oxydations communs comme Ti, Zr, Nb, P, Th, Y et REE). Il est toutefois possible de relever une absence d'enrichissement en fer et en titane et des teneurs faibles en TiO<sub>2</sub> (0,5% à 1,16%) dans l'ensemble des roches basiques et intermédiaires. La projection des analyses, sur le diagramme Zr/TiO<sub>2</sub> vs Nb/Y (WINCHESTER & FLOYD, 1977), montre l'existence d'andésites, de dacites et de rhyodacites correspondant à une séquence subalcaline (Fig. 6). Malgré la mobilité des éléments majeurs, la projection des analyses, sur le diagramme AFM d'IRVINE & BARAGAR (1971), confirme le caractère calco-alkalin déjà observé dans le diagramme précédent (Fig. 7).

Les diagrammes de normalisation multiéléments par rapport au MORB (PEARCE *et al.*, 1983, adaptés par LEFÈVRE *et al.*, 1994) permettent une visualisation d'ensemble des teneurs des éléments chimiques les plus discriminants pour les magmas basiques et intermédiaires (Fig. 8, Fig. 9 et Fig. 10).

Les andésites montrent un fort enrichissement en éléments incompatibles, avec des variations d'enrichissement en ces derniers plus mobiles en solutions aqueuses, et une anomalie négative très marquée en Nb, caractéristiques d'un volcanisme de type orogénique (Fig. 8). Cette affinité orogénique est généralement associée à des faibles teneurs en éléments de transition (V, Cr, Ni et Sc)

bien que, des teneurs élevées en ces éléments ont été déjà décrites dans les volcanites des arcs continentaux (PECCERILLO & WU, 1992; SIEBEL *et al.*, 2001). Les andésites de Tazekka ont, également des teneurs en éléments de transition, généralement faibles, mais quelques échantillons montrent de plus fortes teneurs en ces éléments (Fig. 8 et Tableau 2). Les valeurs élevées du rapport La/Nb, supérieures à 1,8 (2 à 5,82), associées à des valeurs élevées de Zr/Y, supérieures à 3 (4,63 à 12,29), et de faibles valeurs de Ti/Y, inférieures à 350 (151,60 à 247,73), sont celles d'un magmatisme orogénique de marge continentale active (CONDIE, 1989).

Les volcanites basaltiques se distinguent des précédentes par des concentrations relativement moins importantes en éléments incompatibles, surtout les éléments incompatibles et lithophiles, traduisant la nature moins différenciée et contaminée de ces roches, affirmées par des valeurs relativement faibles.

L'arrivée précoce, dans le dépocentre de Tazekka, des laves andésitiques riches en K<sub>2</sub>O et en Th, et donc plus évoluées que celles basaltiques, suggère la différenciation magmatique d'un liquide primitif dans une chambre magmatique, produisant une structure zonée dont le liquide andésitique, moins dense, était au sommet, eut accès plus facile à la surface (MASSON *et al.*, 1996; WILSON, 1989).

Le diagramme de normalisation multiéléments des différents faciès (lave pauvre en phénocristaux; enclaves homogènes et coulées pyroclastiques) de l'ensemble rhyolitique porphyrique a été normalisé au

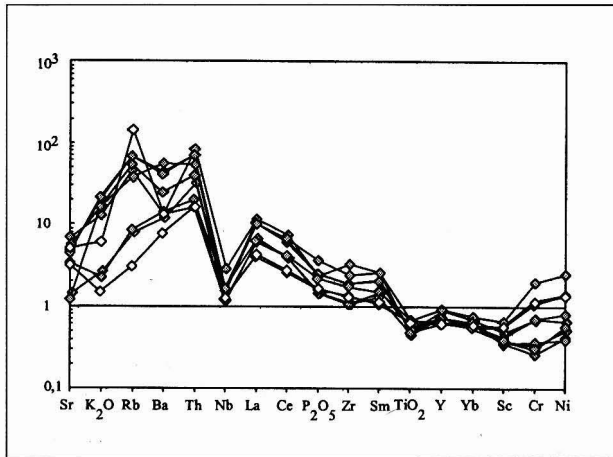


Fig. 8 – Diagramme de normalisation multiéléments par rapport au MORB (PEARCE, 1983, modifié par LEFEVRE *et al.* 1994) des volcanites représentatives des ensembles basaltique et andésitique, du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka. Symboles comme dans la Fig. 6.

- MORB normalized multi-element diagram (PEARCE, 1983, modified by LEFEVRE *et al.*, 1994) for the volcanic rocks from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif. Symbols as in Fig. 6.

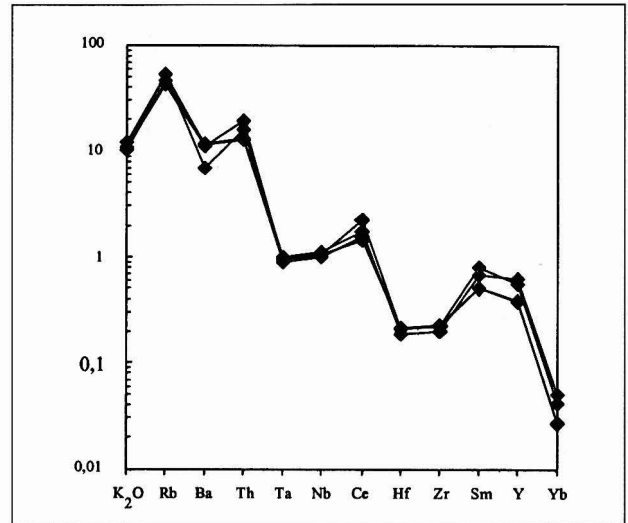


Fig. 9 – Diagramme de normalisation au ORG (PEARCE *et al.*, 1984) des volcanites représentatives de l'ensemble rhyolitique du dépocentre volcano-sédimentaire du Massif du Tazekka.

- ORG normalized multi-element diagram (PEARCE *et al.*, 1984) for rhyolitic rocks from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif. Symbols as in Fig. 6.

ORG (facteur calculé à partir de la cristallisation fractionnée du MORB) par l'application de la loi de Raleigh (PEARCE *et al.*, 1984) (Fig. 9). Cette figure met en évidence un enrichissement en K, Rb, Ba et Th, par rapport aux teneurs des autres éléments, ce qui nous permet d'apparenter ces rhyolites, soit aux granites calco-alcalins des arcs volcaniques, soit aux granites collisionnels. Les relations Rb (172 ppm à 216 ppm) *versus* Y+Nb (37 ppm à 49,6 ppm) les situent dans le premier environnement, quoique presque aux limites entre les deux environnements (Tableau 2) (PEARCE *et al.*, *op. cit.*).

L'ensemble des volcanites du dépocentre carbonifère du Massif du Tazekka présente des spectres des REE assez fractionnés, avec des rapports (La/Yb)<sub>N</sub> variant de 4,91 à 10,93 (Fig. 10). Les anomalies en Eu, de plus en plus marquées depuis les basaltes jusqu'aux rhyolites (0,95 à 0,45), indiquent un fractionnement de plus en plus important des plagioclases.

Les profils de REE, de l'ensemble rhyolitique, montrent un enrichissement en terres rares lourdes qui n'a pas été accompagné par un enrichissement semblable en Terres rares légères. Ceci atteste d'une différenciation par cristallisation fractionnée des phases minérales (probablement des minéraux accessoires) contenant ces derniers éléments.

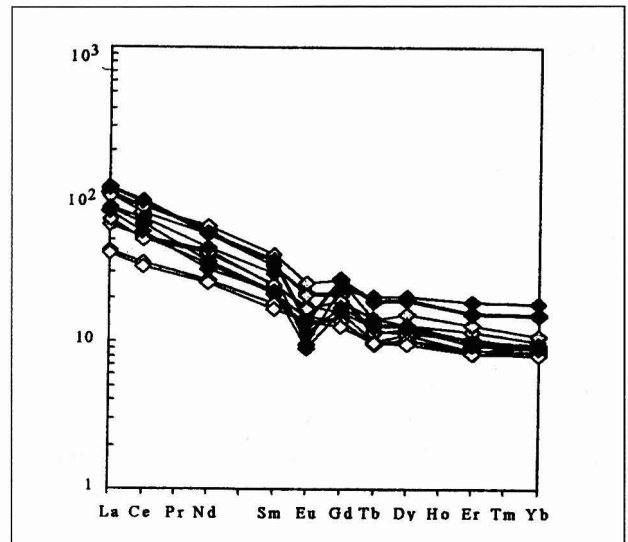


Fig. 10 – Spectres des éléments terres rares, normalisés aux chondrites (NAKAMURA, 1977), des différents ensembles volcaniques du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka. Symboles comme dans la Fig. 6.

- Chondrite normalized REE diagram (NAKAMURA, 1977) for the volcanic rocks from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif. Symbols as in Fig. 6.

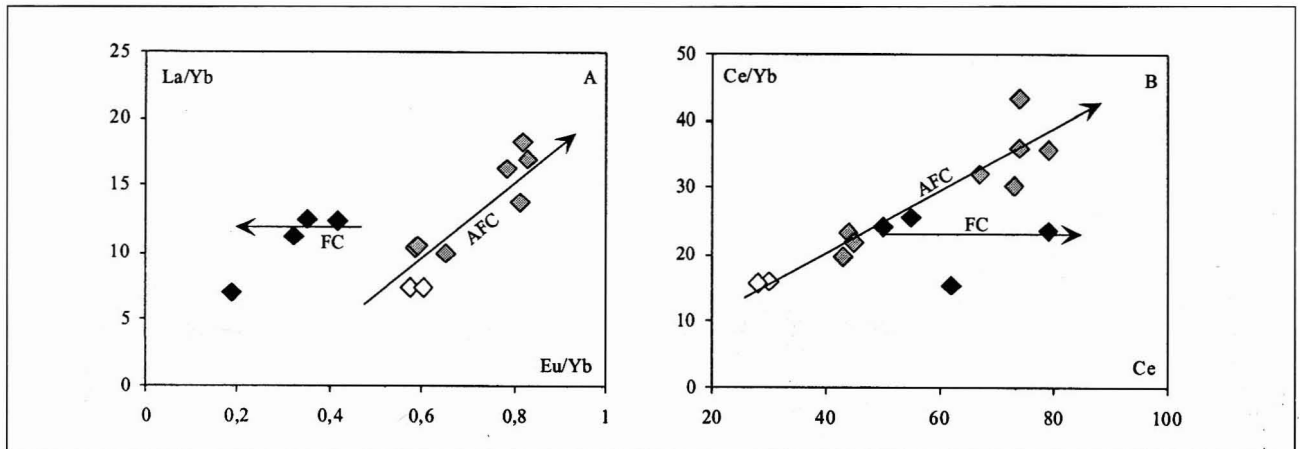


Fig. 11 – Tendances évolutives, magmatiques, des volcanites du dépocentre volcano-sédimentaire du Massif du Tazekka, dans les diagrammes (A) La/Yb vs Eu/Yb et (B) Ce/Yb vs Ce; (CF) par cristallisation fractionnée; (ACF) avec ou sans assimilation crustale. Symboles comme dans la Fig. 6.

- Magmatic trends for the volcanic rocks from the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif. (A) La/Yb vs Eu/Yb and (B) Ce/Yb vs Ce diagrams. (CF) fractional crystallization; (ACF) assimilation and fractional crystallization. Symbols as in Fig. 6.

La projection des différents échantillons des ensembles basique, andésitique et rhyolitique dans le diagramme Ce/Yb vs Eu/Yb montre que les échantillons de rhyolite se distribuent suivant un trend horizontal, mettant ainsi en évidence le rôle joué par la cristallisation fractionnée dans l'évolution magmatique des volcanites du dépocentre du Massif du Tazekka (HART & ALLEGRE, 1980) (Fig. 11 A). Cependant, la large dispersion suivant un autre trend rectiligne oblique des échantillons basiques et andésitiques suggère fortement l'intervention de processus de contamination et d'assimilation crustale (ACF). Ces derniers sont supportés par le trend des échantillons basiques et andésitiques dans le diagramme Ce/Yb vs Ce qui montre une augmentation du rapport Ce/Yb avec l'augmentation du Ce (AJAJI *et al.*, 1998) (Fig. 11 B). Ces diagrammes (Fig. 11) montrent que les liquides qui ont donné les basaltes, correspondent aux faciès les moins différenciés et les moins contaminés de la région du Tazekka, qu'ils ont évolué par différenciation magmatique en deux branches. D'après ces diagrammes, la branche qui a donné les rhyolites est celle qui a subi plus de contamination / assimilation crustale.

L'ensemble des caractères géochimiques assemble les volcanites du dépocentre Volcano-Sédimentaire carbonifère du Massif du Tazekka aux volcanites calco-alcalines orogéniques de marge continentale active, comme le montre également le diagramme Th/Yb vs Ta/Yb de PEARCE (1983) (Fig. 12). Cette conclusion est confirmée par les données présentées au chapitre antérieur sur la composition chimique des

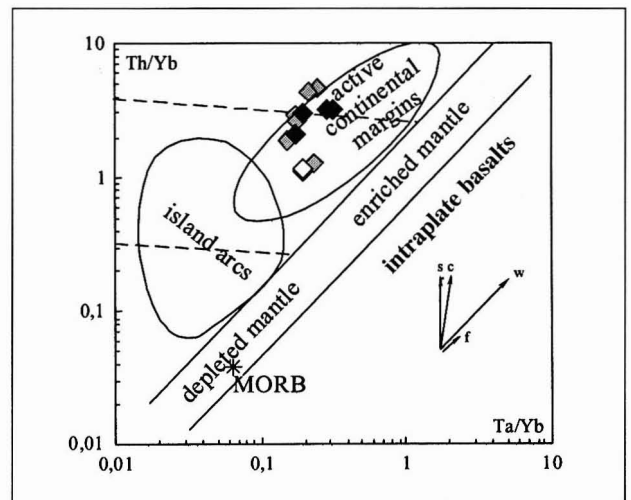


Fig. 12 – Place des volcanites du dépocentre Volcano-Sédimentaire du Massif du Tazekka dans le diagramme Th/Yb en fonction de Ta/Yb de PEARCE (1983), adapté par Ribeiro *et al.* (2001). Symboles comme dans la Fig. 6.

- Th/Yb vs Ta/Yb of PEARCE (1983). Projection for the volcanic rocks of the volcano-sedimentary depozone of the Tazekka Massif, adapted by RIBEIRO *et al.* (2001). Symbols as in Fig. 6.

pyroxènes. En réalité ce sont surtout les données de ces minéraux qui nous permettent d'assurer que le chimisme de roche totale n'est pas l'effet de contamination continentale mais au caractère orogénique du magmatisme (voir aussi MATA *et al.*, 1999).

## CONCLUSION

A l'échelle du grand bassin d'avant-pays carbonifère de la Meseta orientale, le dépo-centre Volcano-Sédimentaire carbonifère de Tazekka illustre donc bien l'évolution tectono-sédimentaire et magmatique d'un sous-bassin compressif en relation avec la progression vers le nord-ouest de plis d'amortissement du chevauchement de Hajra Sbaa-Merja el Caïd: la séquence tectonogénétique de son bord actif (oriental), représentée par des conglomérats immatures de sédimentation catastrophique, traduit un talus mobile; par contre, son équivalent dans son bord passif (occidental) est représenté par une sédimentation épicalstique grauwackeuse de plate-forme à dynamique de tempêtes. Le dispositif est ici clairement celui d'un système "CAS" (SPECHT *et al.*, 1991; DERAMOND *et al.*, 1996) qui rend compte du synchronisme de la tectonique, la sédimentation et du magmatisme contrôlé par le fonctionnement d'un chevauchement (C), la surrection d'un anticlinal d'amortissement associé (A) et la création consécutive d'un synclinal frontal (S).

A l'Ouest du dépo-centre carbonifère, la structuration en écaïlles à vergence ouest, impliquant principalement l'Ordovicien inférieur et moyen (HOEPFFNER, 1987; AMAOUAIN, 1991), constitue un empilement antiformal (*antiformal stack*, dans le sens de BOYER & ELLIOT, 1982) situé entre un décollement basal, à la base de l'Ordovicien, et un décollement de toit, situé à la base de l'Ordovicien supérieur, évoluant probablement, plus à l'ouest, dans les schistes siluriens. La structure d'ensemble est compliquée par la présence, à l'extrémité ouest du Massif de Tazekka, de nombreux rétrochevauchements vers le SE se branchant sur le décollement de toit. Ainsi donc, les différentes structures observées s'intègrent dans une progression continue de séquences de chevauchement vers l'ouest, déterminant dans le substratum ordovicien des culminations en duplex et contrôlant en même temps dans un dépo-centre transporté la sédimentation et le magmatisme carbonifères, par opposition à une succession discontinue de phases tectoniques courtes préalablement proposées (HOEPFFNER, 1978, 1987; AMAOUAIN, 1991).

Comparé aux différents dépo-centres carbonifères de la Meseta marocaine, le dépo-centre de Tazekka, d'âge Viséo-Namurien voire Westphalien inférieur, s'intègre dans le modèle récemment proposé par BEN ABBOU (2001) et RODDAZ *et al.*, (2002). Selon ces auteurs, les hercynides marocaines seraient le résultat

d'une propagation d'au moins deux séquences de chevauchement *piggy-back* déterminant des dépo-centres ou sous bassins qui accumulent une sédimentation grès-conglomératique, turbiditique et carbonatée, en migration vers l'ouest ou le sud-ouest de la Meseta orientale vers la Meseta occidentale. La première séquence, affectant les terrains pré-tectoniques d'âge cambro-ordovicien à dévonien, détermine, dans l'avant-pays de la chaîne, des culminations en duplex ou "rides antiformales", guidées par un niveau de décollement, situé globalement dans le cambro-ordovicien et un niveau de décollement de toit, situé dans le Silurien. Cette première séquence contrôle la sédimentation allant du Tournaisien (ou Faménno-Tournaisien) au Viséen supérieur (V3b $\beta$ / $\gamma$ -V3c: maximum transgressif). La deuxième séquence, utilisant le Silurien comme niveau de décollement basal, se traduit simultanément, au front des principales culminations, par la propagation vers le nord-ouest d'un ensemble de sous bassins, de plus en plus récent vers l'Ouest ou le Nord-Ouest du Viséen supérieur terminal au Westphalien inférieur (BEN ABBOU, 2001; BEN ABBOU *et al.*, 2001). Ces sous-bassins appartiennent à la *wedge top depozone* d'un système de bassin d'avant-pays sous-alimenté (au sens de DECELLES & GILES, 1996) en relation avec une subduction/collision d'une croûte océanique africaine sous la "plaque marocaine" (BEN ABBOU, 2001; RODDAZ *et al.*, 2002).

Le magmatisme associé à cette séquence sédimentaire est constitué par des volcanites dominés par des andésites et des rhyolites (rareté des basaltes) qui présentent les caractéristiques de magmas calco-alcalins des contextes orogénique de marge continentale active. Cette séquence montre une évolution magmatique complexe, par différenciation, dû à la cristallisation fractionnée avec ou sans contamination et assimilation crustale.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué dans le cadre de la convention de coopération établie entre le CNCPRST (Rabat, Maroc)-GRICES (Lisbonne, Portugal) et le établie entre le Département de géologie de la Faculté Dhar El Mahraz et INETI.

Nos vifs remerciements vont aux *referees* Profs. E. Clavijo et J. Mata pour leurs remarques et critiques très constructives et à Dr. D. d'Oliveira par son aide dans la traduction des légendes.

## REFERENCES

- AGARD, J.; MORIN, P. & OWODENKO, B. (1958) – Rapport sur la recherche de nouveaux bassins houillers dans le Maroc oriental. *Rapport Serv. et Gîtes Minéraux*, Rabat, N.° 629 (inédit).
- AJAJI, T.; WIS, D.; GIRET, A. & BOUABDELLAH, M. (1998) – Coeval potassic and sodic calc-alkaline series in the post-collisional Hercynian Tanncherfi intrusive complex, northeastern Morocco: geochemical, isotopic and geochronological evidence. *Lithos*, **45**, pp. 371-393.
- AMAOUAIN, H. (1991) – *Evolution hercynienne des terrains paléozoïques de la partie SW du Massif du Tazekka entre Tleta des Zerarda et Kassioua (Maroc oriental)*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle. Univer. Mohamed V, Rabat, 160 p.
- BEN ABBOU, M. (2001) – *Dynamique des bassins d'avant-pays carbonifères: signatures tectoniques, sédimentaires et magmatiques de l'évolution de la chaîne hercynienne du Maroc Central septentrional. Implications sur le modèle géodynamique de la chaîne hercynienne*. Thèse Sci. Univ. Cadi Ayyad-Marrakech, Maroc, 312 p.
- BEN ABBOU, M.; SOULA, J.-C.; BRUSSET, S.; RODDAZ, M.; N'TARMOUCHANT, A.; DRIOUCH, Y.; CHRISTOPHOUL, F.; BOUABDELLI, M.; MAJESTÉ, C.; BÉZIAT, D.; DEBAT, P. & DÉRAMOND J. (2001). Contrôle tectonique de la sédimentation dans le système de bassins d'avant-pays de la Meseta marocaine. *CRAS*, Paris, **332**, pp. 703-709.
- BOYER, S. E. & ELLIOT D. (1982) – The geometry of thrust systems. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, Vol. **66**, (9), pp. 1196-1230.
- CABANIS, B. (1986) – *Identification des séries magmatiques dans les socles métamorphiques sur la base de critères géologiques, pétrographiques et géochimiques*. Thèse d'Etat Sci., Paris, 690 p.
- CHALOT-PRAT (1986) – Mise en évidence d'un dépression volcano-tectonique associée à d'épais épanchements ignimbritiques hercyniens dans le Massif du Tazekka (Maroc oriental). *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, **27**, (3-4), pp. 193-203.
- CHALOT-PRAT, F. (1990) – *Pétrogenèse d'un volcanisme intracontinental tardi-orogénique hercynien. Etude du complexe volcanique Carbonifère du Tazekka et de zones volcaniques comparables dans le Mekam et la région de Jerrada (Maroc oriental)*. Thèse Sci. Université Pierre et Marie Curie, Paris, 283 p.
- (1995) – Genesis of rhyolitic ignimbrites and lavas from distinct sources at a deep crustal level: field, petrographic, chemical and isotopic (Sr, Nd) constraints in the Tazekka volcanic complexe (Eastern Morocco). *Lithos*, **36**, pp. 29-49.
- CHALOT-PRAT, F. & CABANIS, B. (1989) – Découverte, dans les volcanites carbonifères du Tazekka (Maroc oriental), de la coexistence de diverses séries basiques, d'une série acide et d'importants phénomènes de mélanges. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **308**, série II, pp. 739-745.
- CHALOT-PRAT, F. & VACHARD, D. (1989) – Découverte de foraminifères Serpoukhoviens (Namurien inférieur) dans la série Volcano-Sédimentaire du Tazekka (Maroc oriental). *CRAS*, Paris, **308**, s. II, pp. 1157-1160.
- CONDIE, K. C. (1989) – Geochemical Changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance. *Lithos*, **23**, pp. 1-18.
- DECELLES, P. G. & GILES, K. A. (1996) – Foreland basin systems. *Basin Research*, **8**, pp. 105-123.
- DÉRAMOND, J.; DELCAILLAU, B.; SOUQUET, P.; ANGELIER, J.; CHU, H. – T.; LEE, J. – F.; LEE, T. – Q.; LIEW, P. – M.; LIN, T. – S. & TENG, L. (1996) – Signatures de la surrection et de la subsidence dans les bassins d'avant-chaîne actifs: les Foothills de Taiwan (de 8Ma à l'actuel). *Bull. Soc. géol. France*, **167**, (1), pp. 111-123.
- ESSAMAVAL, M. (1999) – *Analyse tectonique et microtectonique du complexe volcano-sédimentaire carbonifère dans le massif hercynien du Tazekka (Moyen-Atlas Maroc) Conséquences sur le contrôle structural de la minéralisation en antimoine de Boujaâda*. Thèse Univer. Mohamed V, Rabat, 200 p.
- GIROD, M.; BAILEY, D. K.; BAKER, P. E.; FISCHER, R.V.; MAURY, R.; ROCCI, M.; SCHMINCKE, H. & UPTON, B. G. (1978) – *Les roches volcaniques, pétrologie et cadre structural*. Doin edts. Paris. 239 pp.
- HART, S. R. & ALLEGRE, C. J (1980) – Trace elements constraints on magmas genesis. *Physics on magmatic processes*. Hargraves, R. B. (Ed) Princeton Univ. Press., Princeton, NJ, pp.121-159.
- HOEPPFNER, C. (1978) – Le massif paléozoïque du Tazekka (Maroc): analyse des déformations liées à un linéament tectonique. *Sci. Géol. Bull.*, **31**, (1), Strasbourg, pp. 33-44.
- (1981) – Le complexe Volcano-Sédimentaire d'âge carbonifère dans le Massif de Tazekka; sa place dans l'évolution hercynienne de la Meseta marocaine orientale. *Sci. Géol., Bull.*, **34**, (2), Strasbourg, pp. 97-106.
- (1987) – *La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc*. Thèse Sc., Université Strasbourg, 280 P.
- HUON, S.; PIQUE, A. & CLAUER, N. (1987) – Etude de l'orogénèse hercynienne au Maroc par la datation K-Ar de l'évolution métamorphique des schistes ardoisiers. *Sci. Géol. Bull.*, **40**, (3), Strasbourg, pp. 273-284.
- HUVELIN, P. (1986) – Le carbonifère du Tazekka (Maroc): volcanisme et phénomène de resédimentation. *CRAS*, Paris, t. **303**, série II, n.° 16, pp. 1483-1488.
- (1992) – Le Carbonifère du Tazekka (Maroc): volcanisme, mise en place des granites et des minéralisations en antimoine. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, T1, (2<sup>ème</sup> série), pp. 129-133.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, R. A., (1971) – A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.* **8**, pp. 523-48.
- KHARBOUCH, F. (1994) – *Les laves dévono-dinantiennes de la Meseta marocaine: étude pétro-géochimique et implication géodynamique*. Thèse Sci., Univer. Bretagne occidentale, Brest, 366 p.
- KHARBOUCH, F.; JUTEAU, T.; TREUIL, M.; JARON, J. L.; PIQUE, A. & HOEPPFNER, C. (1985) – Le volcanisme dinantien de la meseta marocaine nord-occidentale et orientale. Caractères pétrographiques et géochimiques et implications géodynamiques. *Sci. Géol. Bull. Strasbourg*, **38**, pp. 155-163.
- LEFEVRE, C.; LAKHRISSE, M. & SCHNEIDER, J-L (1994) – Les affinités magmatiques du volcanisme dinantien des Vosges méridionales (France); approche géochimique et interprétation. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. **319**, série II, pp. 79-86.
- LETERRIER, J.; MAURY, R. C.; THONON, P.; GIRARD, D. & MARCHAL, M. (1982) – Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planet. Sc. Letters*, **59**, Elsevier Sc. Pub. Comp., Amsterdam, pp. 139-154.

- MARHOUMI, M. R. (1985) – *Etude palynologique des séries dinantiennes de la meseta marocaine. Conséquences stratigraphiques et structurales*. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université Strasbourg, 111 p.
- MASSON, P. R. D.; DOWNES, H.; THIRLWALL, M. F.; SEGHEDI, I.; SZKACS, A.; LOWRY, D. & MATTEY, D. (1996) – Crustal assimilation as a major petrogenetic process in the East Carpathian Neogene and Quaternary continental margin arc, Romania. *Journal of Petrology*, **37**, (4), pp. 927-959.
- MATA, J.; RIBEIRO, M. L. & PIÇARRA, J. M. (1999): Geochemical characteristics of the S. Marcos do Campo volcanic complex: evidence for subduction-related volcanism. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, **86**, pp. 3-14.
- MORIMOTO, N.; FABRIES, J.; FERGUSON, A. K.; GINBURG; ROSS, M.; SEIFERT, F. A. & ZUSSMAN, J. (1988) – Nomenclature of pyroxenes. *Bull. Minéral.*, **111**, pp. 535-550.
- MORIN, P. H. (1948) – Note préliminaires sur le massif de microgranite de Boujaada (région de Taza). *Notes Serv. Géol.*, Maroc, t. 1, n.° 71, pp. 73-80.
- NAKAMURA, N. (1974) – Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, **38**, pp. 757-775.
- PEARCE, J. A. (1983) – Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: *Continental floods basalts and mantle xenoliths* – C. J. Hawkesworth and N. J. Norry eds. pp. 230-249.
- PEARCE, J. A.; HARRIS, N. B. & TINDLE, A. G. (1984) – Trace discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**, (4), pp. 956-983.
- PECCERILLO, A. & WU, T. W. (1992) – Evolution of calc-alkaline magmas in continental volcano's: Evidence from Alicudi, Aeolian arc (Southern Tyrrhenian Sea, Italy). *J. Petrol.*, **33**, (6), pp. 1295-1316.
- PIQUÉ, A. (1989) – Variscan terranes in Morocco. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, **230**, pp. 115-129.
- PIQUE, A. & MICHARD, A. (1981) – Les zones structurales du Maroc hercynien. *Sci. Géol. Bull.*, **34**, Strasbourg, pp. 139-146.
- PIQUÉ, A.; BOSSIÈRE, G.; BOUILLIN, J.-P.; CHALOUAN, A. & HOEPPFNER, C. (1993) – Southern margin of the Variscan belt: the north-western Gondwana mobile zone (eastern Morocco and northern Algeria). *Geologische Rundschau*, **82**, pp. 432-439.
- RAUSCHER, R.; MARHOUMI, M. R.; VAUGUESTAINE, M. & HOEPPFNER, C. (1982) – Datation palynologique des schistes du Tazekka au Maroc. Hypothèse structurale sur le socle hercynien de la Meseta orientale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, T. **294**, Série II, pp. 1203-1206.
- RIBEIRO, M. L.; SOLA, A. R.; MOREIRA, M. E.; NTARMOUCHANT, A.; RAMOS, J. M. F.; BEN ABBOU, M.; EZZOUHARI, H.; CHARF, A.; DAHIRE, M. (2001) – Evolution magmatique péri-gondwanienne au passage Ifracambrien: Exemple des magmatites de Bou Ibenhar-Jbel Hadid (Massif hercynien central, Maroc). *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, **88**, pp. 245-254.
- RODDAZ, M.; BRUSSET, S.; SOULA, J.-C.; DEBAT, P.; BEN ABBOU, M.; BEZIAT, D.; DRIOUCH, Y.; CHRISTOPHOUL, F.; NTARMOUCHANT, A. & DERAMOND, J. (2002) – Foreland basin magmatism in the Western Moroccan Meseta and geodynamic inferences. *Tectonics*, **21**, (5), pp. 1043-1065.
- ROS, C. S. & SMITH, R.L. (1961) – Ash-flow tuffs: their origin, geologic relations and identification. *U. S. Geol. Surv. Profess. Paper* pp. 366-381.
- SPECHT, M.; DERAMOND, J. & SOUQUET, P. (1991) – Relations tectonique-sédimentation dans les bassins d'avant-pays: utilisation des surfaces stratigraphiques isochrones comme marqueurs de la déformation. *Bull. Soc. géol. France*, **162**, (3), pp. 553-562.
- SIEBEL, W.; SCHNURR, W. B. W.; HAHNE, K.; KREAMER, B.; TRUMBULL, R. B.; VAB DEN BOGAARD, P. & EMMERMANN, R. (2001) – Geochemistry and isotope systematics of small- to medium-volume Neogene-Quaternary ignimbrites in the southern central Andes: evidence for derivation from andesitic magma sources. *Chemical Geology*, **17**, pp. 213-237.
- WILSON, M. (1989) – *Igneous petrogenesis. A global tectonic approach*. Chapman & Hall, Londres, 466 p.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1977) – Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, **20**, pp. 325-343.

Artigo recebido em Março de 2004

Aceite em Junho de 2004