

Mise en évidence de téphrites à néphéline syntectoniques dans le bassin cambrien de Sidi Saïd Maâchou (Meseta côtière, Maroc); signification géodynamique

Evidence of syntectonic tephrites with nepheline in the Sidi Saïd Maâchou Cambrian basin (coastal Meseta, Morocco); geodynamic implications

T. Remmal¹, A. Mohsine², N. El Hatimi³

RESUME

Basée sur des critères structuraux, pétrographiques et géochimiques, une réinterprétation du magmatisme basique de Sidi Saïd Maâchou (meseta côtière) en deux stades de mise en place est proposée. Le premier stade est caractérisé par des coulées pyroclastiques transitionnelles accompagnant l'ouverture du bassin ouest mésétien au Cambrien. Le second stade, de nature fissural, comprend des basaltes, dolérites et téphrites à néphéline spécifiques d'un magmatisme alcalin sous-saturé. La mise en place de ce dernier est associée à un couloir de cisaillement senestre subméridien activé à la fin de l'orogénèse calédonienne, engendrant un flux géothermique élevé.

Mots clés: Cambrien, Silurien, magmatisme, contrôle structural, Meseta occidentale, Sidi Saïd Maâchou, Maroc.

ABSTRACT

Based on a combined structural, petrographic, and geochemical analysis, a new interpretation of the basic magmatism of Sidi Saïd Maâchou (coastal Meseta) in two stages of emplacement is proposed. The first stage is characterized by transitional pyroclastic flows that have accompanied the opening of the West-Mesetian basin, during the Cambrian; the second stage is made of dykes of basalts, dolerites, and tephrites bearing nepheline. The emplacement of this undersaturated alkaline magma is associated to a sinistral submeridian shear zone which has been activated at the end of the Caledonian orogenesis, by a mantle advection.

Key words: Cambrian, Silurian, magmatism, structural control, Sidi Saïd Maâchou, Owest meseta, Morocco.

Introduction

La cartographie des occurrences magmatiques du bassin cambrien de Sidi Saïd Maâchou (SSM) dans la Meseta côtière (fig. 1) a permis d'identifier des filons de téphrites syn-tectoniques, qui viennent préciser les caractéristiques pétrographiques, géochimiques et structurales de ce magmatisme basique mis en place par ailleurs sous forme de filons, sills

ou laccolites de basaltes et de dolérites. La découverte de néphéline dans ces roches étaye le caractère sous saturé de ce magmatisme alcalin (Mohsine *et al.*, 1998; Mohsine, 2002). Ces nouvelles données déconnectent les intrusions basiques des dépôts volcanoclastiques qui, jusque là, étaient affiliés à une même entité magmatique accompagnant l'ouverture du bassin au cours du Cambrien moyen (Gigout, 1956; Ouali *et al.*, 2000; El Attari, 2001).

¹ Laboratoire de Géosciences, Université Hassan II - Ain Chock, BP 5366, Maârif, Casablanca, Maroc. Email: remmal-t@mailcity.com

² Direction de la Recherche et de l'Ingénierie de Formation (DRIF, OFPPT). 50, rue Caporal Driss, Chbakou, Ain Borja, Casablanca, Maroc.

³ Université Mohammed V, Av. Ibn Batouta, BP. 1014, Rabat, Maroc.

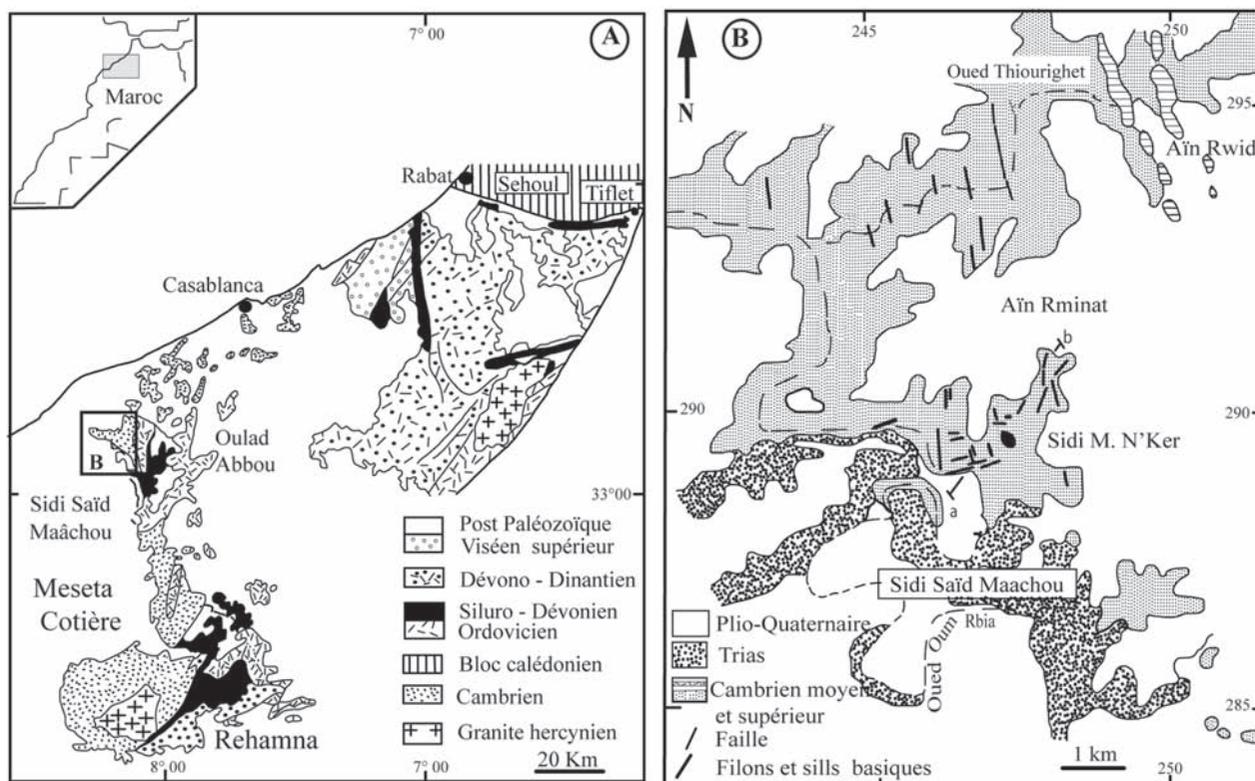


Fig. 1.—Situation et croquis de la carte géologique simplifiée de la région de Sidi Saïd Maâchou avec localisation de la coupe levée.

La mise en place diachronique du magmatisme de SSM, d'abord synsédimentaire au Cambrien puis fissural vraisemblablement au Silurien, s'accorde avec l'évolution structurale des bassins ouest mésétiens (El Hassani, 1990) et permet d'expliquer l'inconformité des données paléomagnétiques, notamment l'écart non négligeable (40°) entre la paléolatitudes déterminée et celle attendue à SSM pendant le Cambrien (Khattach, 1989). En effet, l'étude paléomagnétique réalisée à partir d'un échantillonnage effectué dans les filons et sills intrusifs de Sidi Moul N'ker (fig. 1B) a révélé une position de SSM, entre le pôle stéphano-autunien (290Ma) et le pôle silurien inférieur (430 Ma), très différente des pôles d'âge acadien (520Ma) pour l'Afrique (Khattach, 1989). Les directions d'aimantation (D/I) calculées au site de SSM ($33N, 8W$), montrent que pour faire coïncider ces directions à 520Ma, il faut une rotation de 80° et un déplacement de 45° en latitude (5.200 km). Enfin, la permanence d'une activité magmatique durant le Paléozoïque inférieur permet d'éclairer le processus du rifting à l'intérieur du Paléo-Gondwana.

Lithologie, pétrographie et mode de gisement des formations magmatiques

Les terrains paléozoïques qui encaissent l'essentiel de l'activité volcanique à SSM sont représentés par des schistes à Paradoxides, d'âge acadien (Gigout, 1956), faisant partie d'une puissante série terrigène déposée au fond d'un graben subsident, contrôlé par des failles normales $N00$ à $N20^\circ$ (Bernardin *et al.*, 1988; Corsini *et al.*, 1988). La succession lithostratigraphique (fig. 2) y est représentée à la base par des schistes gréseux et micacés à intercalations de grauwackes, surmontés par une alternance de calcaire bioclastique et de grès psammitique à miches carbonatées. A l'interface de ces bancs s'injectent des laves de basaltes et de dolérites qui se raccordent par endroit à des filons d'alimentation mis en place normalement à la série, sous contrainte cisailante subméridienne. Ce dispositif se rencontre également dans les schistes violacés qui terminent la série où apparaissent les premiers dépôts volcano-sédimentaires en couches épaisses métriques à plurimétriques localement recoupées par des filons basiques.

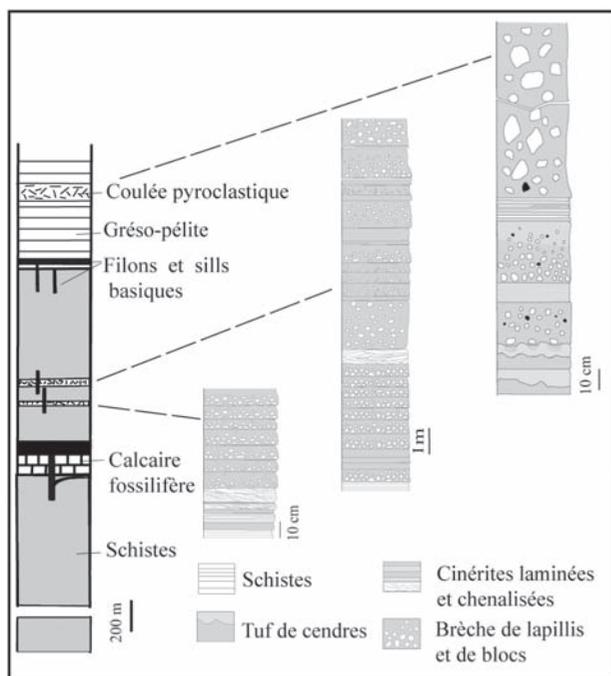


Fig. 2.—Série lithostratigraphique cambrienne de Sidi Saïd Maâchou avec relevés détaillés des niveaux volcanoclastiques.

Les dépôts pyroclastiques

L'examen pétrographique des formations volcano-sédimentaires (fig. 2) a permis de reconnaître leur caractère pyroclastique franc (Mohsine, 2002). Les premiers niveaux de ces formations sont plutôt épicyclastiques (Bourdier, 1994), formés par le remaniement des fragments pyroclastiques dans une matrice calcaire. Les pyroclastes correspondent à du basalte microlitique fluidal à doléritique, formé en grande partie de plagioclases albitisés, pouvant atteindre une taille centimétrique et constituer à eux seuls des clastes monocristallins. De fines lamelles de biotite métamorphique se développent sporadiquement en travers des fragments pyroclastiques ou dans la matrice, en association avec des oxydes de fer. Cette matrice tend à disparaître dans les dépôts sus-jacents au détriment de la fraction lithique juvénile qui se résout en une alternance de brèches et de tufs de lapillis et/ou de cendres nettement lités. Les lits peuvent être classés, chenalisés, entrecroisés ou laminés. Une telle organisation rappelle les séquences pyroclastiques déposées lors d'éruptions phréatomagmatiques (Sheridan, 1979; Cas et Wright, 1987) et suggère l'existence d'un volcanisme sub-aquatique à faible profondeur de type surtseyen (Wright *et al.*, 1980).

Le magmatisme basique fissural

Il se présente en un complexe filonien (fig. 3), composé de basaltes et de dolérites évoluant vers une composition de téphrites par enrichissement en minéraux hydroxylés.

Les basaltes se concentrent particulièrement sur la rive nord de l'Oued Oum Rbia, sous forme de filons subverticaux, de 20 à 60 cm d'épaisseur et d'extension décamétrique à hectométrique suivant une direction majeure ENE. Les filons recèlent parfois des enclaves gréseuses arrachées à l'encaissant pendant leur mise en place qui s'accompagne d'injections latérales en sills subméridiens de 0,5 à 3 m d'épaisseur. Les sills les plus épais s'installent à la faveur de plans de faiblesse ouverts entre couches de compétence mécanique contrastée en l'occurrence les calcaires et les grès arkosiques. Certains de ces sills, tout en engendrant un recuit de l'encaissant sur 1 cm de l'éponte, décrivent des phénomènes de différenciation mécanique liés à l'écoulement du magma, avec une frange aphérique en bordure, qui évolue au centre vers une texture microlitique porphyrique et fluidale dominée par le plagioclase (An70), associé au diopside (En36 Wo46 Fs18) et à l'ilménite.

Les dolérites se mettent en place aux environs de Sidi Moul N'Ker, sous forme de protrusions d'environ 50 m de diamètre ou de laccolites de puissance hectométrique, parfois même en filons de 30 cm d'épaisseur recoupant les formations pyroclastiques (fig. 4, photo 1). Ils montrent une texture intergranulaire soulignée par du plagioclase (An50Or2), de l'augite (En45Wo41Fs14), de l'ilménite et de la néphéline (Ne69Ks27Qz04). La présence de ce feldspathoïde atteste du chimisme alcalin sous-saturé du magma parent. Dans les occurrences massives apparaissent des veinules millimétriques à centimétriques de téphrites en contact magmatique avec la dolérite hôte (fig. 4, photo 2). Ces téphrites, mises à jour à SSM, peuvent prendre de l'ampleur jusqu'à s'individualiser en deux groupes selon leur composition et mode de gisement:

— Les téphrites à biotite et amphibole localisées à proximité des dolérites, où elles se présentent en filons puissants de 50 cm à 1 m s'épanchant latéralement en sills dans les schistes. Ce faciès traduit une hydratation du magma basique par enrichissement en biotite et amphibole. Les pyroxènes, à composition de diopside (En33Wo51Fs16), sont quasi systématiquement bordés de kaersutites épitaxiales ($[Na + K] > 0,5$; $Ti > 0,5$; $5,5 < Si < 6$)

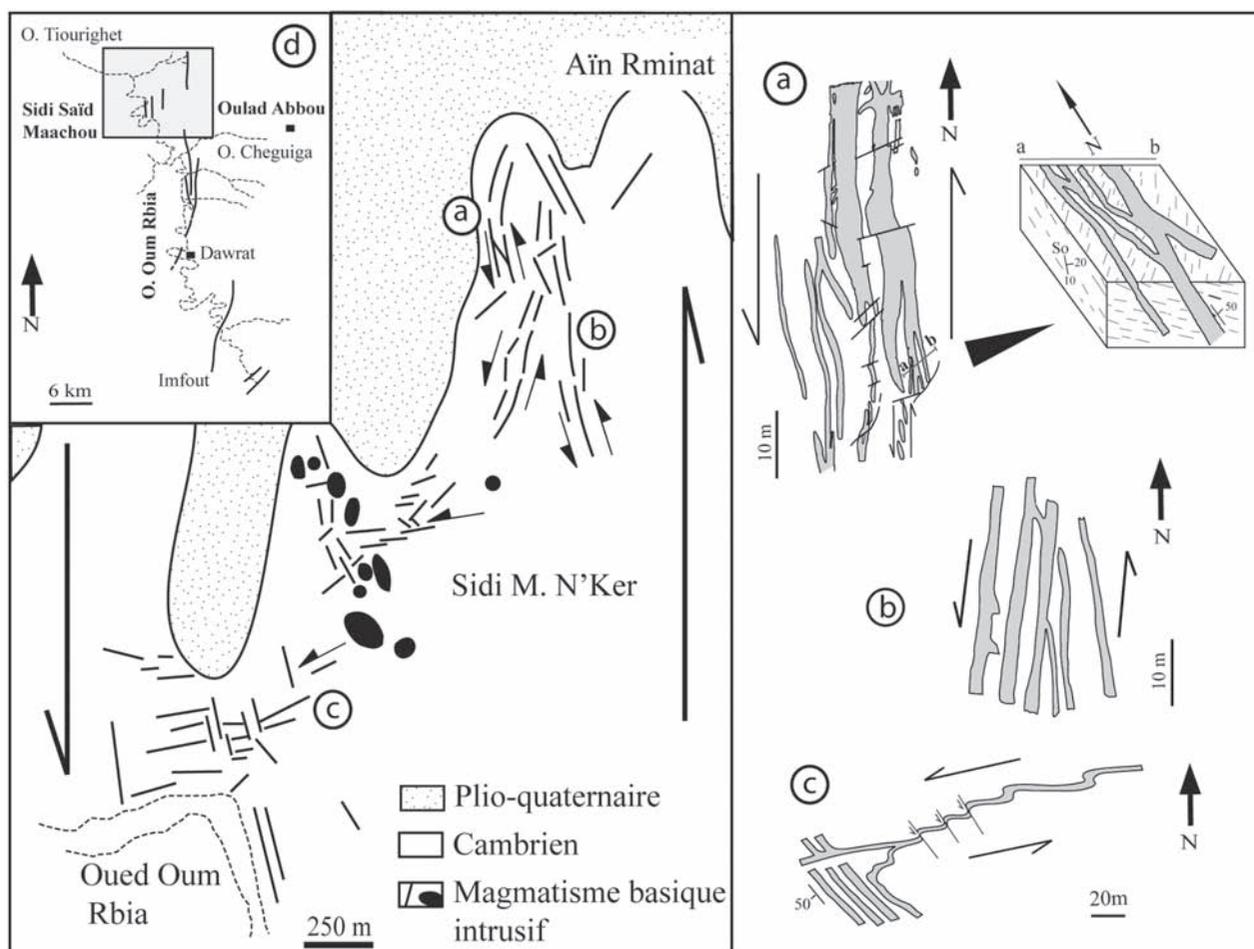


Fig. 3.—Configuration structurale du champ filonien basique de Sidi Saïd Maâchou en couloir de cisaillement senestre avec description des figures cinématiques caractéristiques a, b, et c. En encart (d) figure le tracé des failles reconnues dans la basse vallée de Oum Rbia.

avec lesquelles ils montrent une continuité optique et cristallographique. Les plagioclases porphyriques ($An_{65}Or_{1.5}$) s'enrichissent en alcalins en fin de cristallisation ($An_{40}Or_5$) où ils se réduisent à des microlites associés au pyroxène suivant une texture subophitique. La biotite ($X_{Fe} > 0,45$) est en fines lamelles disséminées dans la roche, accompagnée de l'ilménite en granule parfois hématisée. Analcime, zéolites et calcite constituent les principaux minéraux secondaires.

— Les téphrites à amphiboles situées près de Aïn Rminat au Nord, décrivent un important réseau de filons épais de 1 à 3 m et d'extension kilométrique. Leur composition se démarque du faciès précédent par: i/ l'expression de la néphéline (fig. 4, photo 3), ii/ la résorption du pyroxène au détriment des amphiboles qui se présentent en aiguilles de

kaersutites, soulignant une nette fluidalité linéaire (fig. 4, photo 4) et iii/ le caractère essentiellement sodi-potassique des feldspaths ($Ab_{90}Or_{10}$).

Modèle de mise en place du magmatisme fissural

Les filons de Aïn Rminat sont intrusifs dans les schistes cambriens qui montrent une stratification subméridienne fortement aplatie de 20° vers l'Est. Ces filons peuvent se subdiviser en deux branches est et ouest orientées respectivement $N150$ à $N30$ avec un pendage subvertical. La branche ouest est composée essentiellement de téphrites à amphibole qui ont tendance à se réduire au détriment des microdolérites dans la branche est. Dans les deux

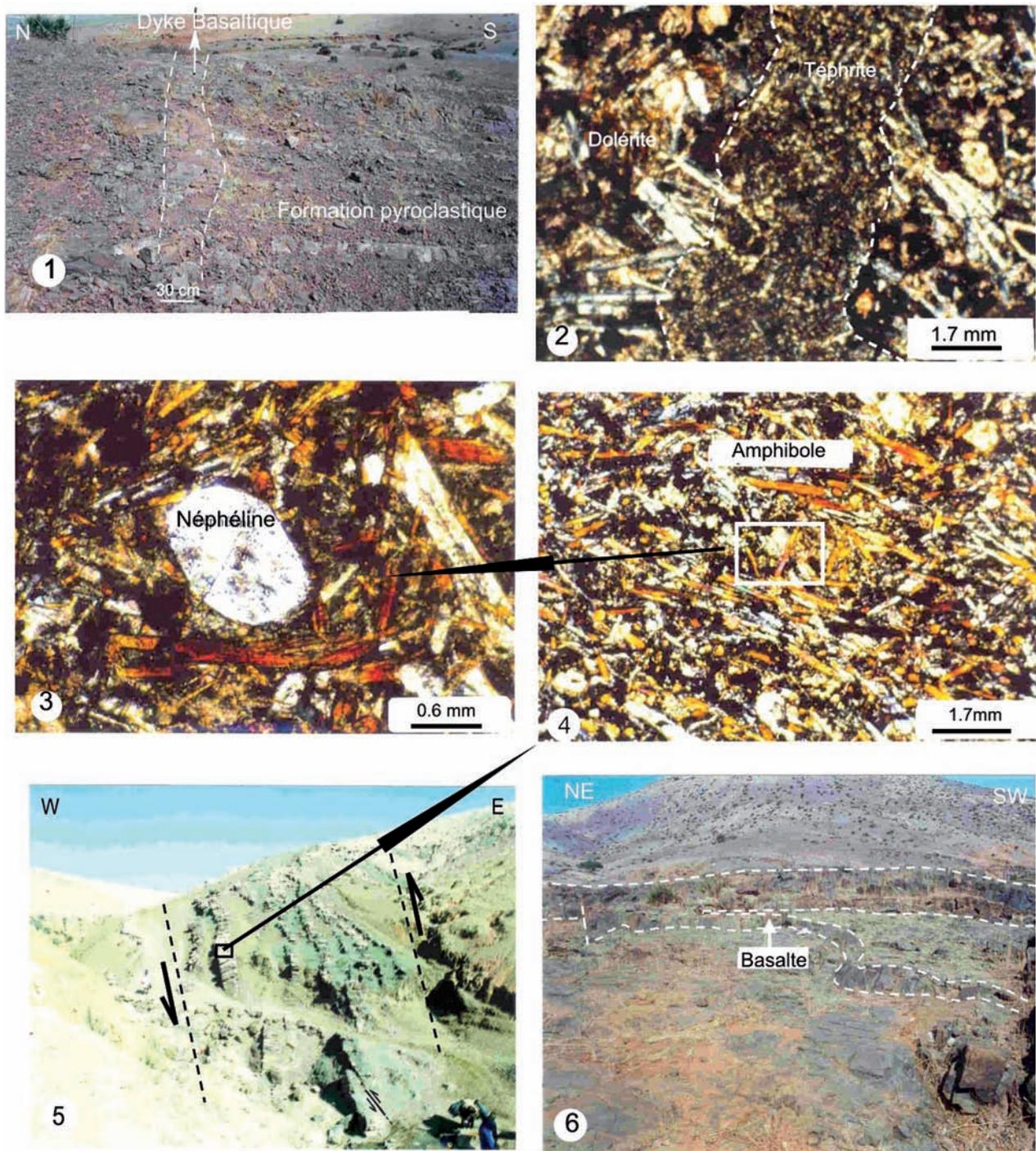


Fig. 4.—Photo 1: Filon de basalte alcalin du complexe filonien basique recoupant la formation volcanoclastique cambrienne de Sidi Saïd Maâchou au niveau de Sidi M. N'ker. Celle-ci est formée d'une succession de coulées pyroclastiques, de cinérites laminées et de cendres grossières chenalisées. Photo 2: Veinule de téphrite à biotite et amphibole en contact magmatique avec la dolérite encaissante. Noter la migration des cristaux de plagioclase de la dolérite vers la téphrite. Cet échange mécanique associé au caractère sinueux du contact, prouvent la pénécontemporanéité des deux magmas. Photo 3: Cristal hexagonal de néphéline dans la téphrite à amphibole. Photo 4: Téphrite à amphibole en aiguilles décrivant une nette fluidalité magmatique. Photo 5: Configuration structurale des filons de téphrites soulignant une mise en place synchrone d'un cisaillement senestre (Puits de Ain Rminat, X: 248, y: 291). Noter la présence de failles senestres qui témoignent de la prolongation du mouvement cisailant. Photo 6: Epanchement latéral d'un sill à partir d'un filon de basalte. Le sill décrit une flexure en «z» qui indique une intrusion en force.

cas, ces filons se mettent en place dans des fractures qui ont joué en cisaillement senestre attesté par (fig. 3a et b):

— La présence de système anastomosé faisant intervenir deux familles de fractures: l'une principale formée de filons puissants, pouvant atteindre 3m d'épaisseur, et orientés NS, l'autre subsidiaire formée de filons moins épais (< 1 m) et obliques de 15° à 20° sur la direction méridienne principale, dans le sens senestre (fig. 4, photo 5).

— La présence de lentilles métriques disposées en échelon gauche par rapport au trajet principal du cisaillement.

— Le remplissage par du magma de coins ouverts dans l'encaissant par le jeu contemporain senestre des fractures.

Vers le sud à l'approche de l'Oued Oum Rbia, les filons changent de composition et d'orientation. C'est essentiellement des basaltes peu épais et subverticaux qui montrent une direction majeure N60 à N80 mais entrecoupé par des intrusions de dolérites en filons orientés N10 à N30 et parfois N130 à N140. Certains filons, essentiellement subéquatoriaux, peuvent émettre des ramifications obliques de 20° à 30° qui finissent par se ranger dans le plan de stratification sous forme de sills (fig. 3c). Ces fractures secondaires traduisent un mouvement senestre, étayé de surcroît par la présence de flexures dissymétriques gauches le long du trajet de ces filons (fig. 4, photo 6). Celles-ci peuvent être étirées jusqu'à rupture, entraînant un tronçonnement du filon et son décalage sur 10 à 50 cm.

La conjonction de ces différents indicateurs cinématiques, à l'échelle de SSM, illustre l'organisation structurale d'une zone de cisaillement selon les modèles géomécaniques développés en milieu non coaxial (Vialon *et al.*, 1976; Simpson, 1983; Gapais *et al.*, 1990) (fig. 3). Ainsi, les filons N160 occupent le plan de type Riedel synthétique R, alors que les filons N60 à N80 et N15 à N30 remplissent respectivement les fractures P et P' qui traduisent ici des stades progressifs de la déformation. Celles-ci sont mieux exprimées quand la contrainte est appliquée en milieu ductile et ont le même sens de déplacement que le cisaillement principal (Daignault et Archambault, 1990). Les dolérites massives s'agencent en chapelet orienté N140 conformément à la direction des fentes d'extension ouvertes sur cisaillement senestre.

Le couloir de cisaillement NS ainsi défini à SSM, large de 2 à 3 km et contrôlé par un mouvement

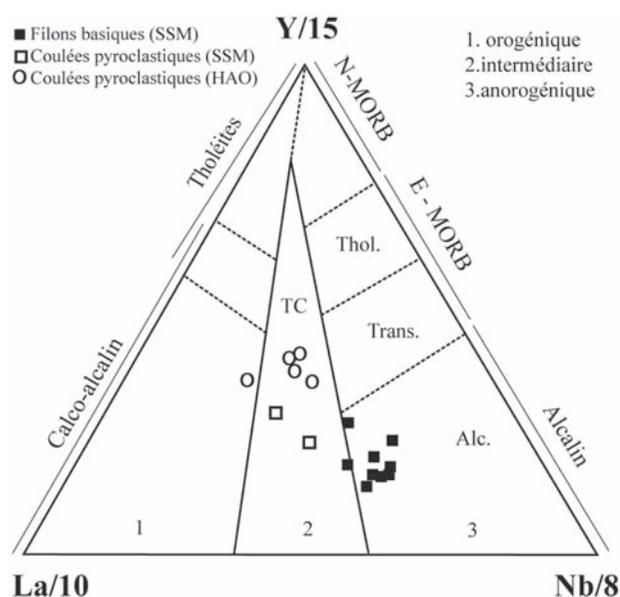


Fig. 5.—Position des roches basiques pyroclastiques (□) et filoniennes (■) de Sidi Saïd Maâchou (SSM) dans le diagramme Y/15-La/10-Nb/8. Comparaison avec les coulées pyroclastiques (○) du Haut Atlas occidental (HAO).

senestre fait partie des failles méridiennes reconues dans toute la basse vallée d'Oum Rbia, depuis Imfout jusqu'au SSM (fig. 3d) où elles constituent la direction tectonique majeure. Plusieurs de ces failles sont héritées de l'histoire paléogéographique cambrienne (El Attari, 2001) et ont participé au contrôle de la déformation hercynienne dans le môle côtier.

Caractérisation géochimique et filiation génétique

La signature alcaline sous-saturée des laves intrusives, déjà confirmée par la présence de la néphéline, est reproduite dans le diagramme La/10-Y/15-Nb/8 (Cabani et Lecolle, 1989) (fig. 5). Les pyroclastites, exemptes de toutes traces de remaniements se situent dans le domaine des tholéites de rift continental ayant subi une influence crustale, à l'instar des coulées pyroclastiques basiques à intermédiaires de Gundafa d'âge Cambrien moyen, situées à l'extrémité sud du graben ouest mésétien, dans le Haut Atlas Occidental (Badra *et al.*, 1992). Les spectres multiéléments des basaltes, gabbrodolérite et téphrites normalisés par rapport au MORB (Pearce, 1983), épousent le tracé des laves alcalines intraplaques continentales (Villemant,

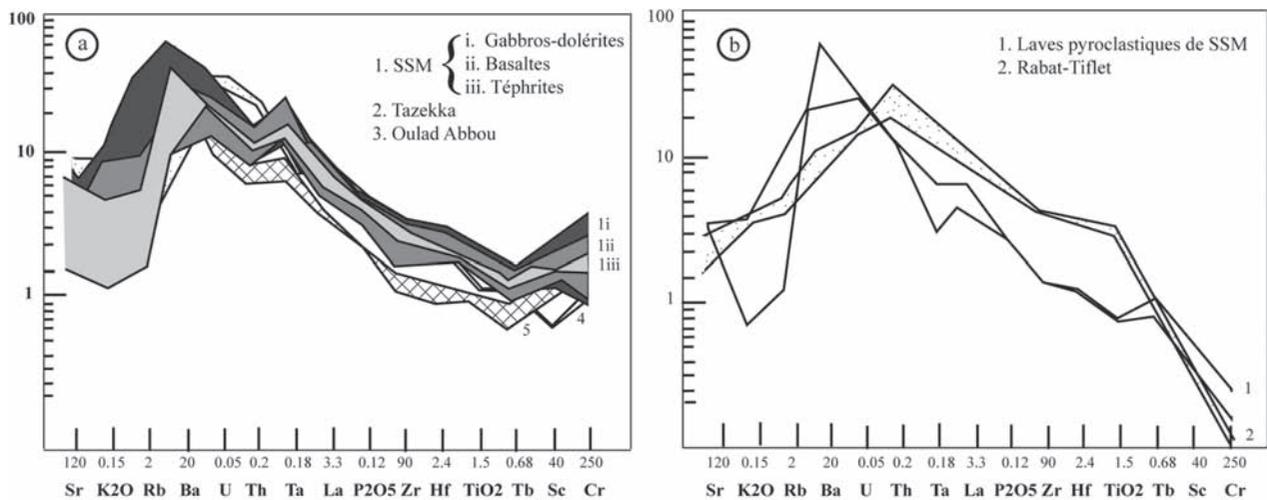


Fig. 6.—Spectres élargis des laves basiques filoniennes (a) et pyroclastiques (b) de Sidi Saïd Maâchou (SSM) normalisées par rapport au MORB. Comparaison avec les laves alcalines intraplaques continentales de Tazekka dans la meseta orientale marocaine (2a), de Oulad Abbou (3a) et de l'axe Rabat-Tiflet (2b).

1985; Cabanis, 1986; Chalot-Prat, 1990) avec un enrichissement sélectif en éléments LILE par rapport aux éléments HFS et une légère anomalie négative en Th (fig. 6a). Le rapport Th/Ta, équivalent à 1 est caractéristique des domaines anorogéniques (Joron *et al.*, 1983). Les pyroclastites présentent un profil analogue aux précédents mais s'en distinguent par de faibles teneurs en Cr et la présence d'une anomalie négative en Ta (fig. 6b). Celle-ci ajoutée au rapport Th/Ta (2-5), corroborent la signature tholéïtite continentale (Dupuy et Dostal, 1984).

Discussion: Arguments pour un âge silurien du magmatisme fissural

La mise en évidence d'une zone de cisaillement senestre d'orientation méridienne et contemporaine de la mise en place du magmatisme basique fissural à SSM, impose une relecture de l'évolution géodynamique de ce secteur. Les caractéristiques cinématiques de ce cisaillement ne s'accommodent pas avec le modèle d'ouverture, au Cambrien, du sillon ouest mésétien en régime transtensif de type pull-apart contrôlé par un couloir de cisaillement transcurrent N80° senestre (El Hassani, 1990; El Attari, 2001) (fig. 7-I). En effet, le comblement de ce bassin à la manière d'un rift intracontinental est contrôlé plutôt par des failles normales subméridiennes. Sa fermeture à la limite Ordovicien supérieur–Silu-

rien inférieur (El Hassani, 1990), suggère une rotation anti-horaire de l'axe principal de raccourcissement régional qui passe d'une direction NE-SW, à l'origine de la distension cambro-ordovicienne inférieure, à une direction NS engendrant l'activation d'une tectonique cisailante senestre, tout à fait analogue à celle mise en évidence à SSM. Suivant cette évolution, la mise en place du magmatisme filonien de SSM serait décalée au Silurien inférieur (fig. 7-II). Le bloc de Sehoul dont les structures E-W sont normales par rapport à la contrainte régionale va, par contre, enregistrer un métamorphisme synschisteux relié à la mise en place de granites syn- à post-cinématiques datés à 450 Ma (El Hassani, 1990).

Dans le bassin de Oulad Abbou (OA) attenant à SSM, les coulées magmatiques du Silurien inférieur occupent plus de 60% de la série volcano-sédimentaire (El Kamel *et al.*, 1998) et montrent de fortes similitudes chimiques avec le magmatisme intrusif de SSM exprimées par les spectres multi-éléments (fig. 6a). Sur l'axe Rabat-Tiflet (RT) plus au nord, les épanchements pyroclastiques sont plus tardifs, vers le Silurien supérieur (El Hassani, 1990), et de volume relativement moins important. Leurs arachnogrammes se confondent plus avec les pyroclastites de SSM (fig. 6b).

Cette activité magmatique bien développée au cours du Silurien dans cette partie septentrionale de la meseta occidentale, est à l'origine d'une anomalie thermique exprimée par un anchimétamorphisme daté par la méthode K/Ar, sur fraction argileuse

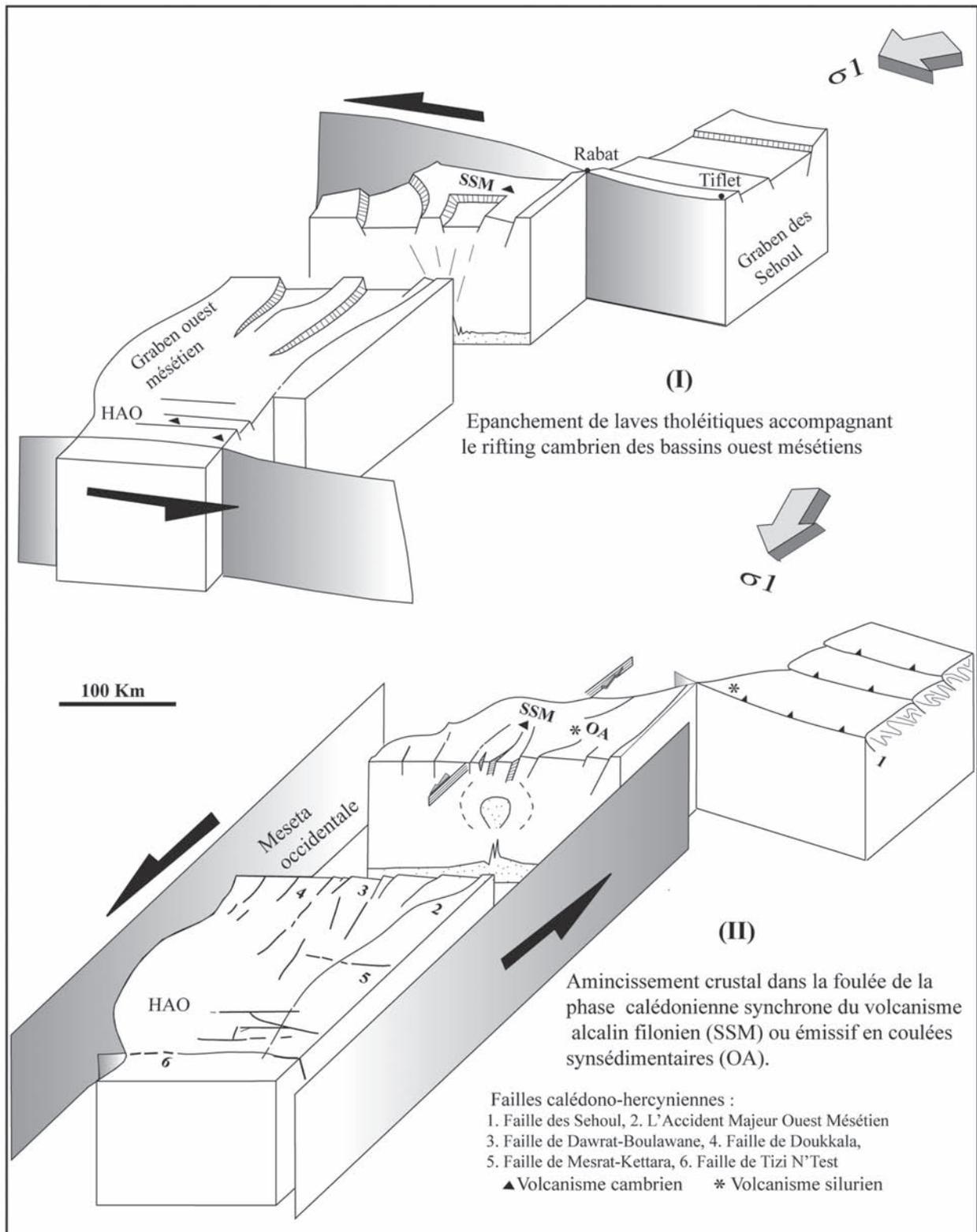


Fig. 7.—Mécanisme d'ouverture (I) et de fermeture (II) des grabens ouest-mésétien et des Séhoul dans le NW du Maroc (d'après Bernardin *et al.*, 1988; El Hassani, 1990, modifié). Les Blocs diagrammes illustrent la permanence d'une activité magmatique profonde accompagnant l'extension crustale de la meseta côtière durant le Cambrien moyen (I) puis le Silurien inférieur (II).

fine, à 447 ± 12 Ma (Rais, 1992). Le flux thermique serait produit par une chambre magmatique générée par advection mantellique (El Kamel *et al.*, 1998).

Conclusion

Dans le secteur de SSM, deux épisodes volcaniques peuvent être distingués: le premier est pyroclastique caractéristique d'un hydromagmatisme subaquatique, accompagnant l'ouverture du bassin au cours du Cambrien moyen, le second est intrusif sous forme d'un complexe filonien qui s'inscrirait dans la phase d'activité magmatique silurienne, d'obédience alcaline, reconnue dans d'autres endroits de la Meseta côtière notamment à Oulad Abbou et sur l'axe Rabat-Tiflet. Celle-ci intervient dans la foulée de la phase sehoulienne «calédonienne» prolongée tardivement par des mouvements chevauchants suite au rapprochement du bloc de Sehoul avec le reste de la Meseta. Cette phase tardi-orogénique va s'exprimer par une dislocation des structures cristallophylliennes et granitiques dans l'axe RT (El Hassani, 1990) ainsi que par des mouvements épirogéniques à l'échelle de tout le môle côtier. Ces mouvements sont à l'origine d'importantes lacunes sédimentaires, traduites par l'absence de l'Ordovicien moyen-supérieur (El Kamel *et al.*, 1998; Mohsine, 2002). Les venues éruptives, accompagnant l'édification des bassins sous forme de coulées synsédimentaires (OA, RT) ou fissurales, sous contrainte cisailante (SSM), marquent le passage vers un stade d'amincissement crustal. Les mouvements d'épirogénèse et le magmatisme subséquent ont été souvent associés à un diapirisme mantélique (Lucazeau, 1981; Masse, 1983; Lenat, 1994).

La pérennité d'expression de magmatismes anorogéniques de types et d'âges différents peut être inféodée: i/ à une baisse de pression en base de lithosphère provoquée par des rejeux tectoniques, et/ou ii/ à la permanence d'une anomalie thermique profonde accompagnant l'extension crustale de la Meseta côtière durant le Cambrien puis le Silurien. Cette extension serait contemporaine et liée au détachement de la microplaque d'Avalon du Gondwana (Fortey et Cocks, 1991; Robardet *et al.*, 1993).

REMERCIEMENTS

Nous remercions Messieurs les Professeurs Jean-Paul Liégeois et José López Ruiz pour leurs remarques et critiques constructives.

Références

- Badra, L.; Pouclet, A.; Prost, A.-E. & Touret, J.-C. (1992). Mise en évidence d'une extension intraplaque tardi-panafricaine d'intérêt métallogénique dans le Haut Atlas occidental (Maroc). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 314: 703-709.
- Bernardin, C.; Cornée, J.-J.; Corsini, M.; Mayol, M.; Muller, J. & Taibi, M. (1988). Les variations d'épaisseur du Cambrien moyen en meseta marocaine occidentale. Données de surface et de subsurface. Signification géodynamique. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 25: 2104-2117.
- Bourdier, J.-L. (1994). Les mécanismes explosifs dans les éruptions à magmas différenciés. In: *Le volcanisme, Manuels et méthodes* (J.-L. Bourdier, ed.). Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France, 122-131.
- Cabanis, B. (1986). *Identification des séries magmatiques dans les roches métamorphiques sur la base de critères géologiques, pétrographiques et géochimiques*. Thèse d'Etat ès Sciences, Université de Paris-6, 682 pp.
- Cabanis, B. & Lecolle, M. (1989). Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des séries volcaniques et la mise en évidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 309: 2023-2039.
- Cas, R.A.F. & Wright, J.V. (1987) *Volcanic successions, modern and ancient*. Allen & Unwin Publishers, 528 pp.
- Chalot-Prat, F. (1990). *Pétrogénèse d'un volcanisme intracontinental tardi-orogénique hercynien. Etude du complexe volcanique du Tazekka et de zones volcaniques comparables dans le Mekkam et la région de Jerada (Maroc oriental)*. Thèse ès Science, Université de Paris-6, 217 pp.
- Corsini, M.; Cornée, J.-J.; Muller, J. & Vauchez, A. (1988). Cisaillement ductile symmétamorphe et déplacement tangentiel vers le sud ouest dans les Rehamna (Maroc hercynien), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 306: 1389-1394.
- Daignault, R. & Archambault, G. (1990). Les grands couloirs de déformation de la sous- province de l'Abitibi. In: *Les ceintures polymétalliques du NW québécois* (Rive, P.; Simard, A.; Lulien, J.M. & Gagnon Y.; eds.). Symposium de l'Institut Canadien des Mines, 43: 1-45.
- Dupuy, C. & Dostal, J. (1984) Traces elements of some continental tholeiites. *Earth and Planetary Science Letters*. 60: 207-225. doi:10.1016/0012-821X(82)90004-8
- El Attari, A. (2001). *Étude lithostratigraphique et tectonique des terrains cambro-ordoviciens du Môle côtier (Meseta occidentale, Maroc)*. Thèse d'Etat ès Sciences, Université Mohammed-V, Rabat, 389 pp.
- El Hassani, A. (1990). *La bordure nord de la chaîne hercynienne du Maroc: chaîne « calédonienne » des Sehoul et plate-forme nord-mésétienne*. Thèse d'Etat ès Sciences, Université Louis pasteur, Strasbourg, 207 pp.

- El Kamel, F.; Remmal, T. & Mohsine, A. (1998). Mise en évidence d'un magmatisme alcalin d'intraplaque post-calédonien dans le bassin silurien des Ouled Abbou (Meseta côtière, Maroc), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 327: 309-314.
- Fortey, R.A. & Cocks, L.R.M. (1991). The Early Paleozoic of the north Atlantic region as a test case for the use of fossils in continental reconstruction. *Tectonophysics*, 206: 147-158. doi:10.1016/0040-1951(92)90373-E
- Gapais, D.; Bale, P.; Choukroune, P.; Cobbold, P.R.; Mahjoub, Y. & Marquer, D. (1990). Bulk Kinematics from shear zone patterns: some fields examples. *Journal of Structural Geology*, 9: 635-646. doi:10.1016/0191-8141(87)90148-9
- Gigout, M. (1956). Le volcan sous marin d'âge acadien de Sidi Saïd Maâchou (Maroc occidental). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 6: 559-574.
- Joron, J.-L.; Cabanis, B. & Treuil, M. (1983). Méthodes d'identification des séries volcaniques anciennes basées sur la géochimie des éléments traces. Comparaison avec les séries récentes: Exemples d'application. In: *Rifts et fossés anciens* (Popoff, M. & Tiercelin, J.J.; eds.). Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production, Elf-Aquitaine, France 7, 1: 273-284.
- Khattach, D. (1989). *Paléomagnétisme de formations paléozoïques du Maroc*. Mémoires et Documents du Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles, 30, 207 pp.
- Lenat, J.F. (1994). Exemples de systèmes de transfert et de stockage de magma. In: *le volcanisme, Manuels et méthodes* (Bourdier, J.L.; ed.). Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France: 53-57.
- Lucazeau, F. (1981). *Flux de chaleur, production de chaleur et évolution géodynamique récente du Massif Central Français*. Thèse de 3^{ème} cycle, Université des Sciences et Techniques de Languedoc, Montpellier, 66 pp.
- Masse, P. (1983). Relations possibles entre fossés d'effondrement, décrochements et bombements dans les rifts intracontinentaux. In: *Rifts et fossés anciens* (Popoff, M. & Tiercelin, J.J.; eds.). Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production, Elf-Aquitaine, France 7, 1: 149-154.
- Mohsine, A. (2002). *L'évolution volcano-tectonique dans le Paléozoïque de la Meseta côtière et des Rehamna. L'exemple du bassin cambro-ordovicien de Sidi Saïd Maâchou, du bassin silurien des Oulad Abbou et du Bassin viséen de Mechraâ Ben Abbou. Approche pétrographique, géochimique et de pétrologie structurale*. Thèse de Doctorat, Université Mohammed-V, Rabat, 270 pp.
- Mohsine, A.; Remmal, T. & El Kamel, F. (2000). Données nouvelles sur le magmatisme silurien de la meseta côtière (Maroc). *18^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Paris*, 198.
- Ouali, H.; Briand, B.; Bouchardon, J.-L. & El Maataoui, M. (2000). Mise en évidence d'un volcanisme alcalin intraplaque d'âge Acadien dans la Meseta nord-occidentale (Maroc). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 330: 611-616.
- Pearce, J.A. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margin. In: *Continental basalt and mantle xenoliths* (Hawkesworth, C.J. & Norry, M.; eds.), Shiva, Nantwich, 239-249.
- Rais, N. (1992). *Caractérisation minéralogique, cristalochimique et isotopique (K-Ar) d'un métamorphisme polyphasé de faible intensité. Exemple: les grauwackes cambriennes du Maroc occidentale*. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne occidentale, Brest, 193 pp.
- Robardet, M.; Blaise, J.; Bouyx, E.; Gourvenec, R.; Lardeux, H.; Le Herisse, A.; Le Menn, J.; Melou, M.; Paris, F.; Plusquellec, Y.; Poncet, J.; Regnault, S.; Rioult, M. & Weyant, M. (1993). Paléogéographie de l'Europe occidentale de l'Ordovicien au Dévonien. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 164, 5: 683-695.
- Sheridan, M.F. (1979). Emplacement of pyroclastic flow: A review, *Geological Society of America Special Paper*, 180: 125-136.
- Simpson, C. (1983). Strain and shape-fabric variations associated with ductile shear zones. *Journal of Structural Geology*, 5: 61-72. doi:10.1016/0191-8141(83)90008-1
- Vialon, P.; Ruhland, M. & Grolier, J. (1976). *Eléments de tectonique analytique*. Masson, Paris, 118 pp.
- Villemant, B. (1985). *La différenciation des séries volcaniques. Géochimie des éléments traces dans les séries du Massif Central et d'Italie centrale*. Thèse ès Sciences, Université de Paris-6, 445 pp.
- Wright, J.V.; Smith, A.L. & Self, S. (1980). A working terminology of pyroclastic deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8: 315-336. doi:10.1016/0377-0273(80)90111-0

Recibido el 12 de marzo de 2008

Acceptedo el 3 de febrero de 2009

Publicado online el 31 de octubre de 2009